

解体技術情報のグローバル化

Globalization of demolition technology information

湯浅 昇

Noboru YUASA

- ① 日本における「解体工事業」の成立と展望

ESTABLISHMENT AND PROSPECT OF DEMOLITION BUSINESS IN JAPAN

- ② 日本における解体技術の変遷

THE TRANSITION OF DEMOLITION TECHNIQUES IN JAPAN

- ③ 日本における高層ビルの解体

DEMOLITION OF SKYSCRAPERS IN JAPAN

- ④ 超高強度コンクリート部材の解体負荷－圧砕工法の適用

APPLICATION OF CRUSHING METHOD TO THE DEMOLITION OF HIGH-STRENGTH AND ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

- ⑤ 再生微粉の有効利用

EFFECTIVE USE OF CONCRETE POWDER BY-PRODUCED FROM RECYCLED AGGREGATE



湯浅 昇

Email: yuasa.noboru@nihon-u.ac.jp

日本大学生産工学部教授・博士（工学）

（公社）全国解体工事業連合会理事、日本建築学会解体工事小委員会委員長、日本非破壊検査協会規格 RC 部門委員長、セメント協会論文審査委員会委員長、日本仕上学会論文審査委員会委員長

2019 年日本建築学会賞（論文）受賞、2009 年日本建築仕上学会論文賞受賞、1998 年セメント協会論文賞、2020 日本コンクリート工学会賞（功労賞）受賞

Noboru YUASA

Email: yuasa.noboru@nihon-u.ac.jp

Professor of College of Industrial Technology, Nihon University

Ph.D. in Engineering

Director of Japan Demolition Contractors Association, Chairman of Demolition Structure Subcommittee in Architectural Institute of Japan, Chairman of RC-Division of JSNDI Standardization in The Japanese Society for Non-Destructive Inspection, Chairman of the Paper Review Committee in The Japan Cement Association, Chairman of the Paper Review Committee in Japan Society for Finishings Technology

2019 Architectural Institute of Japan Award (Research Paper Division), 2009 Japan Society for Finishings Technology Research Paper Award, 1998 The Japan Cement Association Research Paper Award, 2020 Japan Concrete Institute Award (Meritorious Deed Division)

日本における「解体工事業」の成立と展望

日本大学教授 湯浅 昇

1. 建設業法改正による「解体工事業」の成立

建設業法は、1971年に建設業を「登録制」から「許可制」に切り替え、許可業種区分として、総合2業種（土木・建築）、専門26業種の計28業種が規定された。解体工事は「とび・土工工事業」に含まれ、一式工事の土工工事、建築工事、とび・土工工事業の間に埋没したまま、43年という長い月日を費やした。

劣悪な労働環境や労働条件が労働者を危険にさらす最大の弊害となっており、解体工事中の重大事故の発生を防止するうえで、解体業を独立した許可業種として追加することは、解体業界の長年の悲願であり、全国の解体工事業者で構成される全国解体工事業団体連合会（全解工連）が国に何度も訴えかけていた。20年前の全解工連の発足も、これが契機であった。

そして、2014年6月、改正建設業法が公布され、晴れて解体業が許可業種として独立することが決まった。研究者という第三者の立場で見ても、これは大変喜ばしいことであった。

解体工事の業種区分は、それまでの「とび・土工工事業」から分離独立する形で、全体で29番目（専門業種として27番目）の業種として設けられた（図参照）。解体だけを手掛ける専門の業種であり、土木や建築の全体計画の中で行われる解体工事はそれぞれの「一式工事」区分で対応される。1件当たり日本円で500万円以上の解体工事を実施する場合は許可取得が必要になった。

その後、解体工事業許可については2016年6月から施行され、施行日時点で「とび・土工工事業」「コンクリート工事」の許可を受けて解体工事を営んでいた建設業者は、引き続き2019年5月までは、解体工事業の許可を受けずに解体工事を施工できた。その間に順次、解体業としての許可登録を進めていった。

「解体工事業」成立により、解体工事に配置される技術者に求められる、技術・知識を認定する資格制度の確立が必要となり、

(1) 解体工法の専門知識、技術的知識

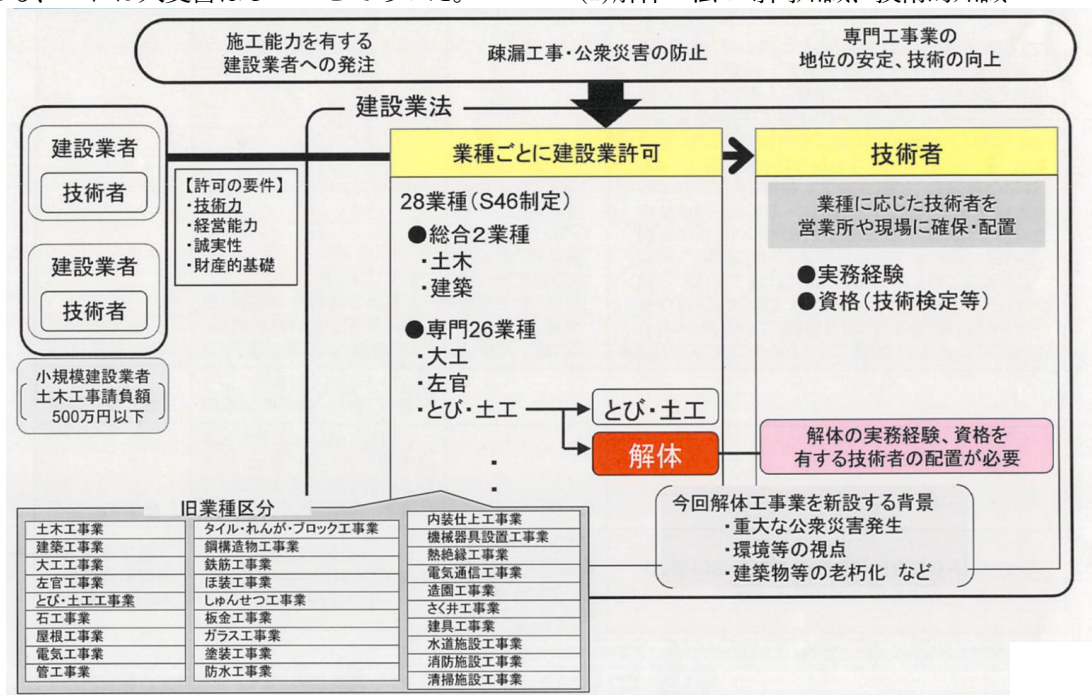


図 改正建設業法における業種区分の新設

- (2)安全管理、施工管理能力
- (3)環境面の課題に対する知識
- (4)建設廃棄物対策に関する知識
- (5)関係法令の知識
- (6)マネジメント能力（現場管理）

の観点から議論され、2016年6月技術者要件・資格が発表された。この技術者要件・資格についても、2021年3月までは、とび・土工工事業の技術者（既存の者に限る。）も解体工事業の技術者とみなすとされた。

2. 解体工事中の事故を未然に防ぐ

今回、解体業の業種区分が新設されたことで、解体工事の安全管理に対するハードルもさらに一段上がった。

構造物を「作る」側の安全は確立されているが、「壊す」側の安全はまだ十分とは言えず、統計的にみると、簡単には比較できないが、解体工事は新築工事に比べ事故の発生割合が多いと言える。

事故には、「公衆災害」と「労働災害」がありますが、工事当事者以外の第三者に危害が及ぶ公衆災害は絶対に起こしてはならない。

解体工事の事故の原因を探っていくと、そのほとんどは「管理」の部分で発生している。解体工事に対する技術的な理解が足りないということではなく、「たぶん大丈夫だろう」といった、ちょっとした不注意やケアレスミスが大きな事故につながっている。国土交通省はそこを問題にしている、今回「解体工事業」の業種区分を設けることで、事故防止を確立しているとしている。

管理マニュアルは整備されていて、全解工連でも、解体工事に関わる事故原因を分析し、その発生を未然に防ぐべく地道な活動を続けている。「解体工事施工技士」（国土交通省令に基づく登録資格）の技術講習会や、解体工事施工技術講習を実施しているほか、2008年には「解体工事 KYT シート集」というビジュアルなテキストもまとめており、イラストで現場の状況を提示し、その状況において考えられるリスク、発生するかもしれない事故を予測し、事前にどのような配慮をすればよいかを自分の頭で考え

られるように編集されている。非常に優れた資料だと思っている。

3. 解体工事の技術開発

さまざまな解体工法がありますが、解体工事業者は多くの種類の資機材を保有していて、対象となる建築物の規模や形状、構造、立地条件などに応じて、どの解体工法を採用するか、受注した解体業者が判断して決定している。

そして、それぞれの資機材や工法において、解体工事業者が日々の解体工事を通して感じている技術的な課題についても、改善に向けて地道に活動している。

日本の都市部では、高層建築物の解体に際し、油圧ショベルを最上階のスラブ上に設置し、上部から順次解体していく「階上工法」が用いられることが多い。油圧ショベルを支持するためにサポートパイプで上下層スラブを接続し、複数層で支持する方法をとるのが一般的であるが、このサポートパイプの代わりに無筋コンクリートを打設しておき、後で床版ごと解体するという方法もある。無筋だから壊しやすいし、価格的にもあうとのことである。

全解工連では、研究助成金を提供して、解体技術の進化に向けた取り組みを行っており、年に一回、その成果をまとめた研究発表会を開催している。この助成金を私の研究室も利用しているが、こうして開発された技術を業界で共有し、共通の技術体系に組み込んでいくことで業界全体のレベルアップが期待されます。

解体工法の研究は、ゼネコンとの共同研究という側面もありますが、解体技術そのものは解体工事業者が保有し蓄積しているものなので、ゼネコンとしては、それをシステム化したり、仕組みを考えたりするということで、お互いの役割分担が出来ているように思える。近年、社会の注目を集めた赤坂プリンスホテルの解体工事でも、全体のシステムを構築したのはゼネコンですが、破碎したり切断したりする要素技術の部分は解体工事業者が一手に担当していた。

現在は、「解体」技術といえば、既存の技術、とりわけ「圧碎」が最も使われているといえる。

だいたい建築物は圧砕の技術で、対応可能であり、泥くさいけれども最も効率が良いといえる。圧砕技術によっても太刀打ちできない場合に、別の方法を考慮するという形が多いようである。ワイヤーソーや手こわしなども大事な技術であるが、あくまで補助的な位置づけである。圧砕に多くの経験値を積み重ねているので、新技術を積極的に採用していくというモチベーションは、現在はあまり高くないように思える。

振り返れば、圧砕工法もかつては新技術であり、コンクリートをノミで壊すところから解体工法ははじまったわけで、それを圧砕に進化させるまでに、大変な進歩があったといえる。これ以上の大幅な進化は、もう望めないかもしれない。

4. 解体工法のこれからの課題について

これからの解体工法の課題として、①高層化、②高強度化への対応が挙げられる。

4.1 高層化への対応

日本の超大手ゼネコンでは、2010年前後に、超高層ビルの解体工法を一斉に開発・実用化してきた。詳細は別途みていただきたいが、「上から壊す」、「下から壊す」という違いはあれ、全体として共通する部分を感じられる。おそらくゼネコン各社は、騒音・振動対策、廃棄物対策などを含め、今までの解体工事のままではだめだと思っていて、新しい解体工事のあり方・戦略を、超高層ビルを題材としてアピールしようとしたように私は思う。

ただ、これらの工法は鉄骨造を想定しており、鉄筋コンクリート造や鉄骨鉄筋コンクリート造の建築物にそのまま適用することは難しい。

都市部の高層建築物は、近隣建築物と近接していることが多く、解体工事の施工条件が大変厳しい。騒音・振動、副産物の搬出などによる周辺環境への影響を最小限にとどめ、アスベストやダイオキシンといった有害物質の飛散にも配慮しなければならない。超高層ビルの解体工法では、解体階をパネル等で覆って外部への飛散を防ぎ、閉鎖的な施工環境で解体工事を実施しているが、最近では中高層の建築物でも同様の対処が行われるようになった。防音パネル

については、特に解体工事用の特殊なものを開発するのではなく、従来の一般的な防音パネルで十分対応できているようだ。

4.2 高強度化への対応

日本における圧縮強度試験は $\phi 20 \times 100\text{mm}$ の円柱供試体で行うので、以下に示す日本の値は、 $100 \times 100 \times 100\text{mm}$ の試験体を使っている国の方にとっては、 $\times 1.2$ 程度を掛けた値で考える必要がある。

さて、一般的な鉄筋コンクリート建築物で使われるコンクリートの圧縮強度は $18 \sim 36\text{N/mm}^2$ が標準であるが、コンクリート技術の進化とともに、日本では 60N/mm^2 クラスの高強度コンクリートが広がり、現在は 150N/mm^2 を超える超高強度コンクリートも実用化されている。かつて超高層建築は鉄骨造がメインであったが、コンクリートの高強度化・超高強度化が進んだことから、とくに集合住宅などでは、居住性などの点でメリットが大きい高強度鉄筋コンクリート造が主流になっている。

鉄骨造であれば、鉄骨部材を切断することで解体するが、鉄筋コンクリート造では、鉄筋が中にあるコンクリートを圧砕して行うのが一般的である。しかし、コンクリートが高強度化し、鉄筋も太径化すると、コンクリートの破砕も鉄筋の切断も困難となる。機械の損耗も早くなり、施工効率も落ちる。

私の研究室では、 $150 \sim 180\text{N/mm}^2$ クラスの試験体を作製して実験を行っている。結論としては、現行の圧砕技術でも対応できる。なぜかという、圧砕が圧縮力ではなく引張力のメカニズムで破壊させる工法であるからである（コンクリートは圧縮強度が高くなっても引張強度はさほど変わらない）。

ただし、圧砕工法の経済活動に見合った、現実的な採用限度は、設計基準強度 60N/mm^2 以下程度までとし、それ以上ではアタッチメントに掛かる負荷が大きく、騒音・振動ので難しいと考える。

そこで、設計基準強度 60N/mm^2 以下を上回る部材では、①解体現場で、カットもしくはワイヤーソー工法で対象部材をトラックに載せ

られる大きさまで切断し、搬出する。

②部材のままリユース or 作業フィールドで圧砕・破砕・分級の上、高級品質のリサイクル材とする。ことを提案する。

超高強度・高強度レベルのコンクリートが使われている部材は、建物全てではなく、下層階の一部に限られることが多い。また、超高強度・高強度レベルのコンクリートは、セメントがリッチであり、リサイクル価値は高いし、高級な再生骨材にもなり得る。

これらを結論づけた研究についてはまたの機会に紹介したい。

5. 新設時に解体に配慮した設計を

私はかつて、鉄筋コンクリート造の柱や梁などの部材をそのまま次の構造物に使えないかと、複数の解体工事業者に聞いてみたことがある。しかし彼らの答えは「採算に合わない」「考える余地もない」といったものだった。奇麗に切断して再利用するより、小塊に崩してリサイクルしたほうが、今は現実的のようである。解体される建築物は既存不適格の建築物が多く、現行の耐震規定に照らしあわせると転用部材としてそぐわないという点もある。

高強度コンクリートの解体について触れたが、新設構造物において、強度レベルが高くなればなるほど、施工管理上、場所打ちよりはPCa（プレキャスト）部材を現場に搬入して建方する方法が有利といえるが、私は解体もこのことを逆手にとって実施できないだろうかと考えている。昔のものは限界があるが、今現在および将来にわたり、施工される構造部材は十分に転用できるほど、技術レベル・管理レベルは高いと私には思える。また、高強度で壊しにくいほど転用部材としての付加価値は高いともはずである。

設計時に、部材のジョイントを工夫し、施工時と解体時に共用できるようにするのは、それほど困難なことでない。設計時に解体時を想定して工夫を盛り込んでおくことで、解体工事が容易になり、副産物も低減するというメリットを実現できる。

システムチックかつ安全な解体を考慮すべ

きである。ゼネコンは、絶対にそういう方向で考えているはずである。数年後にはそれを売りにした工法が出てくるかもしれない。

6. 解体工事業への期待

1995年の阪神・淡路大震災でも、2011年の東日本大震災でも、早期復旧・復興に向けた最大の課題は、がれきの早期処理であった。

解体工事業者は多くの重機を保有し、「どかさ技術」を持っている。自治体と協定を締結しており、こうした非常時にはいち早く出動し、がれき処理に尽力してきた。これらの貢献で、全解工連として、国土交通大臣、環境大臣から表彰も受けている。

今回の建設業法改正では、「離職者の増加、若年入職者の減少等による将来の工事の担い手不足が懸念される」ことから、「建設工事の適正な施工とその担い手の確保が喫緊の課題」と指摘している。今後、解体市場はますます増加する。若く熱意にあふれた技能者入職、熟練工の定着を図るためにも、労働環境や労働条件の改善が図られ、人材の教育を進めて行くことが重要と思える。

今までは土木・建築一式工事の中に含まれていたが、「解体工事業」成立に伴い、今後は解体工事の分離発注が進むことが期待される。それには、多様な建築物に適用できる公的な積算基準を整備し、積算の透明性を高めていくことが必要と思える。ただし、解体工事においては官庁工事より民間工事が非常に多く、見積り方式もまだあまり機能していないことや、地域による施工規模や単価の相違があるんで、難しいことと思える。解体工事でも価格だけでなく技術提案も加味して発注を行う、技術提案総合評価制度の導入も望まれるところである。

今回、国が解体業の許可区分を設けたことについて、ある意味で「パンドラの箱を開けた」ことになったといわれている。それだけ国土交通省も強い信念・確信をもって決断したわけである。

難しい課題はまだまだあるが、これから各方面で検討を重ね、あるべき解体業の姿を確立していただければと思う次第である。

Establishment and Prospect Of Demolition Business In Japan

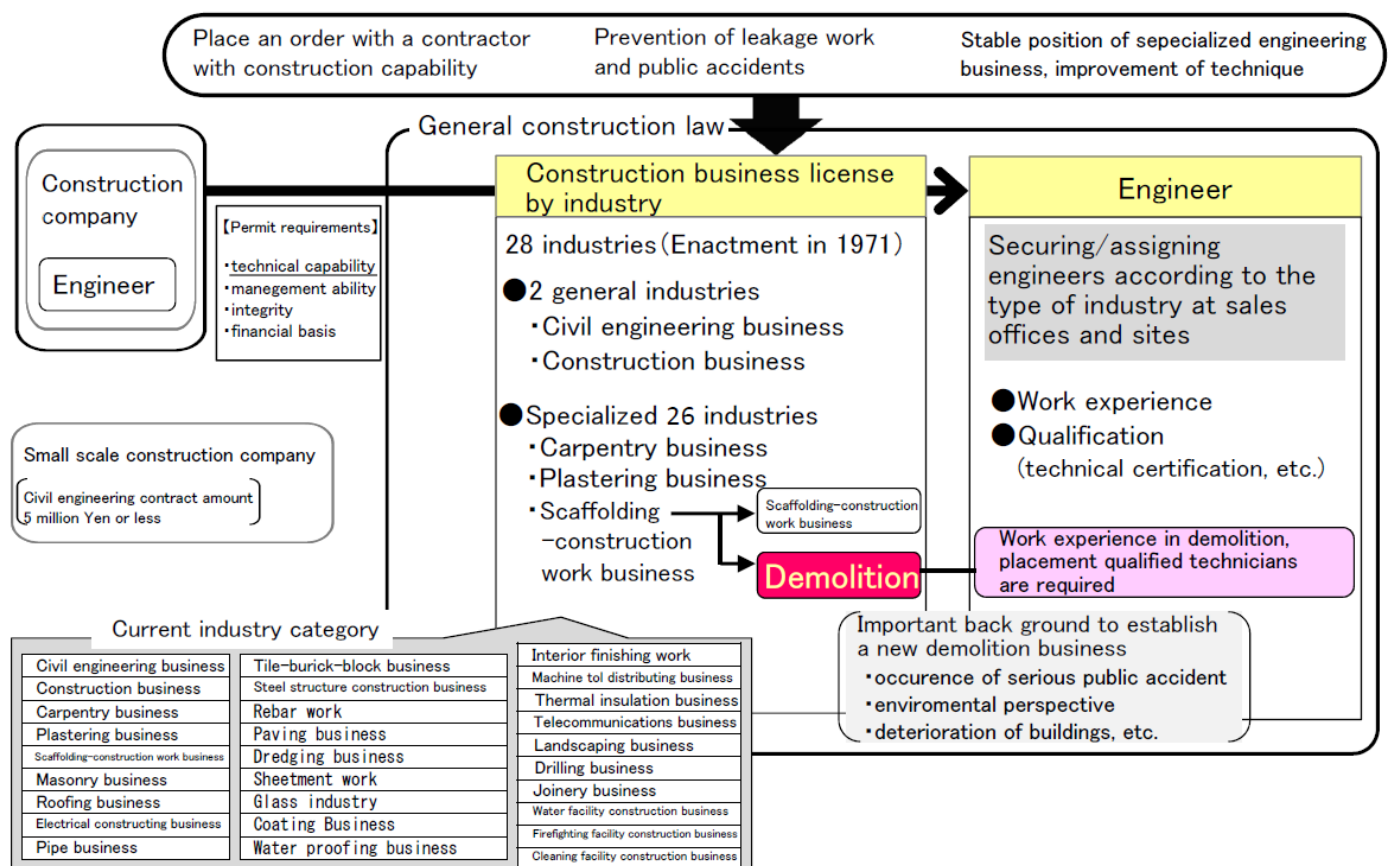
Nihon University, Noboru Yuasa

1. Establishment Of “Demolition Work” By Revision of Construction Business Law

The Construction Industry Law has transformed the construction industry from a “registration system” to a “permit system” in 1971, and the total of 28 industries (including civil engineering and construction) and 26 specialized industries were stipulated as the permitted industry categories. The demolition work was categorized within “civil engineering/construction work”, and spent 43 years buried between civil engineering work, construction work, and other similar works.

Poor working environment and working conditions are the most harmful factors that endanger workers. To prevent the occurrence of serious accidents during demolition work, adding demolition businesses as an independent licensed industry was a long-cherished wish of the industry. The National Federation of Demolition Works Associations (all federations) which consisted of worldwide demolishing contractors have repeatedly appealed to the country in order to grant this wish. We can even state that this wish triggered the establishment of the National Federation of Demolition Works Association 20 years ago.

Finally, in June 2014, the revised Construction Business Law was promulgated, and it was decided that the demolition business would become an independent licensed business. Even from a perspective of a third party, as a researcher, this is very pleasant to hear. The demolition work category was set up as the 29th industry (27th as a specialized industry) as a whole, separated from the previous categorized businesses (civil engineering/construction work) (See Figure). It is a specialized industry that deals only with demolition work and the demolition work that is carried out in the general plan of civil engineering and construction is handled by each "set work" category.



It was necessary to obtain a permit to carry out demolition work of 5 million yen (47,000 USD) or more per case.

Soon after, the demolition work license came into effect in June 2016, where construction companies that carried out demolition work with the permit of “civil engineering/construction work businesses” and “concrete work” prior to the enforcement date could carry on demolition work until May of 2019 without the permission of the newly recognized demolition business. During this time, the license registration for demolition business was promoted.

Along with the establishment of the demolition business, comes a necessity to establish a qualification system that certifies the skills and knowledge required for engineers assigned to the demolition work: (1) Expertise and technical knowledge of demolition method (2) safety management and construction management capabilities (3) knowledge of environmental issues (4) knowledge regarding construction waste management (5) knowledge of related laws and regulations (6) perspective of management ability (site management). These necessities were assessed and technical requirements/qualifications were announced in June of 2016. Regarding the engineer's requirements/qualifications, until March of 2021, it is also considered that the civil engineering/construction work's engineering technicians (limited to existing workers) are considered to be the demolition work engineers.

2. Preventing Accidents During Demolition Work

With this opportunity as an independent licensed business, the demolition industry has raised the hurdle for safety management of demolition work. Although the safety of the "building" side of the structure has been established, the safety of the "demolishing" side is not yet sufficient, and statistically it cannot be easily compared. There are many accidents during demolition work needless to say that demolition work is more complex than new construction work. Accidents include "public accidents" and "work accidents", but public accidents that cause harm to a third party other than the construction party should never occur.

When we investigate further into the cause of the accidents that has occurred during demolition work, most occurred in the “management”. This does not mean that we do not have sufficient technical understanding of the demolition work, but rather a little carelessness and careless mistakes such as the recurring thought of "maybe it will be all right", lead to a major accident. Currently, the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism has addressed this as a problem, and is trying to establish a guide for prevention by establishing an industry category for "demolition work”.

A management manual has been prepared, and at all demolition work associations, the cause of accidents related to demolition work is being analyzed, and steady efforts are being made to prevent such occurrences. In addition to conducting technical courses for "disassembly work construction engineers" (registration qualification based on the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) and disassembly work construction technology courses, in 2008, the visual text "Disassembly KYT sheet collection" has also been summarized. This visual text is edited to predict the accidents that may occur and contains illustrated scenes to assess the possible risks in different situations. The reader's takeaway is to specifically understand the kind of precautions that needs to be taken beforehand from one's perspective. Personally, this is a very good resource for anyone in the field of demolition work.

3. Technology Development for Demolition Work

There are various demolition work methods, but contractors have many kinds of materials and equipment, and demolition businesses that received order determines which demolition work method should be adopted according to the scale, shape, structure and location.

With respect to each of the materials and equipment and construction methods, the contractors are also steadily working towards improvement regarding to the technical problems felt during demolition work on a daily basis.

In urban areas of Japan, when demolishing high-rise buildings, a hydraulic excavator is often installed on the slab of the top floor, and is called a “top-down method” in which disassembly is performed from the top floor. In order to support the hydraulic excavator, it is common to connect the upper and lower slabs with a support pipe and to support them with multiple layers. However, instead of this support pipe, there is also a method to place unreinforced concrete in place of this support pipe and to demolish the floor slab in the end. Since it is straight, it is easy to break and the prices are reasonable.

The National Federation of Demolition Works Associations provided research grants and is working on the evolution of demolition technology, and plans to hold a research presentation once a year that summarizes research results. Although my laboratory also uses this grant, it is expected that the level of the industry as a whole will be improved by sharing the technology developed within the industry and to incorporate it into a common technology system.

Research on demolition method also contains the integrated aspect of joint research with other general contractors, but since demolition technology itself is owned and accumulated by the demolition business, general contractors will help systematize the demolition technology by thinking about the mechanism. By doing so, it seems that the roles of demolition technology can be shared evenly with each other. Even during the demolition work of the Akasaka Prince Hotel, which has attracted the attention of society in recent years, it was the general contractor that constructed the entire system, but the demolishing contractor was in charge of the elemental technological areas such as crushing and cutting/disconnecting. At present, it has been said that out of all the existing technology, “crushing”, is the most used demolition technology. Most of the buildings can be demolished using the crushing technology and is considered the most efficient out of all existing technologies. However, it seems that there are many cases in which another method is deemed fit when the crushing technique is not enough. Use of wire saws and manual crushing are also important techniques, but they are only for auxiliary positions. Since many experiences and knowledge have been accumulated through crushing, the motivation to actively adopt new technologies are not at its highest priority at this point.

Looking back, the crushing method was once a new technology, and demolition work started with the breaking of concrete using chisels, so one can say that great progress has been made since then. It may not be possible to expect any further evolution from this crushing technology.

4. Future Issues Of Demolition Method

Challenges the current demolition methods will face in the future includes: (1) increasing the number of layers and (2) measures for higher strength.

4.1 Response To High-rise Buildings (Skyscrapers)

Around the year 2010, major general contractors have simultaneously developed practical use of demolition methods for skyscrapers. It is preferred to look at the details separately, but there are differences between “demolition from above” and “demolition from below”. Nonetheless, there are correlations when you look as a whole. Perchance, general contractors realized the need for noise, vibration and waste countermeasures that demolition work up till now has unaddressed. I presume that general contractors would appeal new strategies of demolition work with the subject being skyscrapers. However, these construction methods are presumably steel frame construction and it is difficult to apply them onto reinforced concrete constructions or steel frame reinforced concrete construction.

High-rise buildings in urban areas are often in close proximity to neighboring buildings, and the construction conditions for demolition work are very strict. It is necessary to minimize the impact on the surrounding environment due to noise, vibration, carry-out of by-products, etc., and consider the scattering of harmful substances such as asbestos and dioxins. In the demolition method for skyscrapers, panels are used to cover the demolition floor to prevent scattering outside, and the demolition work is performed in a closed construction environment but recently, similar measures have been taken for high-rise buildings. Regarding soundproof panels, it seems that the

conventional general soundproof panels are sufficient, rather than developing special ones for demolition.

4.2 Measures For Higher Strength

Compressive strength tests in Japan are performed on $\phi 20 \times 100$ mm cylindrical specimens. Therefore, for countries using $100 \times 100 \times 100$ mm test specimens, the following Japanese values need to be multiplied by an estimated $\times 1.2$. The standard compressive strength of concrete used in general reinforced concrete buildings ranges from 18-36 N/mm², but with the evolution of concrete technology, high-strength concrete of 60 N/mm² class has spread in Japan, and currently there are ultra-high-strength concrete exceeding 150 N/mm² which has also been put to practical use. In the past, super-high-rise buildings were mainly made of steel but with the progress of higher strength and ultra-high strength of concrete, high-strength reinforced concrete construction has become more mainstream. This is due to great merits in terms of habitability, especially in housing complexes.

In the case of a steel frame structure, the steel frame member is disassembled by cutting, but in the case of a reinforced concrete structure, it is common to crush the concrete with the reinforcing bar inside. However, if the strength of concrete becomes high and the diameter of the reinforcing bar becomes larger, it becomes difficult to crush the concrete and cut the reinforcing bar. Machines would wear out faster, and construction efficiency will be reduced.

In my laboratory, we make 150-180N/mm² class specimens to conduct experiments. In conclusion, the current crushing technology can be used. The reason behind this being, crushing is a method of breaking not by compressive force but by tensile force (concrete tensile strength does not change much even if the compressive strength increases).

However, the practical limit of adoption, which commensurate with the economic activity of the crushing method, is up to a standard strength of 60 N/mm² or less, and above that, the load on the attachment would be too large, and there would be difficulties due to noise and vibration.

Therefore, for parts that exceed the standard strength of 60 N/mm², (1) at the dismantling site, use a cutter or wire saw method to cut the target parts into a size that can be placed on a truck and carried out, (2) reuse or crush/classify the materials in the work field to be used as a high-quality recycled material.

In many cases, parts that use ultra-high strength/high strength concrete are often limited to parts of the lower floors rather than the entire building. In addition, ultra-high-strength and high-strength level concrete is rich in cement, has high recycling value, and can be a high-grade recycled aggregate.

Furthermore, I would like to introduce the research that concludes these points given another opportunity.

5. Layout for Disassembly and Demolition When Newly Established

I have once asked several demolition contractors whether they could use parts of the reinforced concrete columns and beams for the next planned structure. Their answers didn't meet my hopeful expectations and were responded with either "not profitable" or "I have no idea". It seems more realistic now to break it down into smaller pieces and recycle, rather than to cut it clean and reuse it. Many of the buildings that are to be demolished are ineligible existing buildings, and there is also the point that they will not be suitable as diverted members in light of the current seismic regulations.

I mentioned the demolition of high-strength concrete, but the higher the strength level of a new structure, the more convenient the method of bringing in PCa (precast) parts to the site and constructing them rather than casting-in-place due to construction management. However, I have wondered if demolishing still can be done if we see the light of this unfavorable situation. Although the old ones have limitations, it seems to me that the technical level and management level are high enough that the constructed structural parts can be diverted enough now into the future. In addition, the higher the strength and the harder it is to break, the higher the added value as a diversion part should be.

Perhaps it is not so difficult to devise a joint of parts at the time of design so that it can be used both during construction and demolition. When we incorporate proper measures during the designing phase of construction, it is possible to realize the benefits: facilitated demolition and reduced by-products.

A systematic and safe disassembly must be considered and general contractors should definitely think in that direction. In a few years, there may be new advertisements in this direction.

6. Expectations for the Demolition Work

Both at the Great Hanshin-Awaji Earthquake in 1995 and the Great East Japan Earthquake in 2011, the biggest issue for early recovery and reconstruction was the early processing/treatment of debris.

Many demolition contractors own a lot of heavy equipment and has a technology where you can move/discard debris. There was an agreement with the local government, and in such an emergency, the contractors dispatched quickly and have devoted their efforts to debris disposal. All of these contributions have been recognized and they were awarded by the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism and the Ministry of Environment.

With this recurring revision of the Construction Business Law, there is still a concern that there will be a shortage of future workers due to an increase in the number of employees leaving the workforce and a decrease in the number of young employees entering the field. In response to this issue, proper construction during demolition and security of the people who carry these works need to be addressed. The market in the demolition business will continue to increase in the future. It is important to improve the working environment and working conditions and to promote proper education of human resources in order to recruit young and enthusiastic skilled workers and retain skilled workers.

Until now, demolition work was included in the civil engineering/set construction work, but with the establishment of the independent, “demolition work business”, it is expected that a separate order for demolition work to be proceeded in the future. In order to proceed in that fashion, it is necessary to establish an official standard calculation applicable to various buildings and to increase the total transparency of the estimation. However, this can be deemed difficult due to the fact that demolition work is more of a private construction than a government construction. This entails that the estimation method is not yet functioning well, and there are differences in construction scales and unit prices depending on the region. It is desirable to place an order in consideration of technical proposals in addition to price proposals, hence introducing the technical proposal comprehensive evaluation system.

In a sense, the government setting up a demolition permit category this time was like opening the Pandora's box. It is evident that the Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism have made decisions with strong beliefs and convictions of this new industry.

Although there are still many difficult challenges, continuation of studies in various fields would lead to an establishment of an ideal demolition business.

解体工事の姿と解体技術の変遷

日本大学 湯浅 昇

1. はじめに

解体の沿革を考える時、木造については長い歴史があるものの鉄筋コンクリート造については新築の記録はあっても解体に関する記録はきわめて少なく1965年頃までは、当時の経験者の話を集約する以外に手掛かりがない状態であった。また本格的な鉄筋コンクリートの解体が行われたのは昭和30年（1955年）以後のことである。

2. 鉄筋コンクリート造の解体の概要

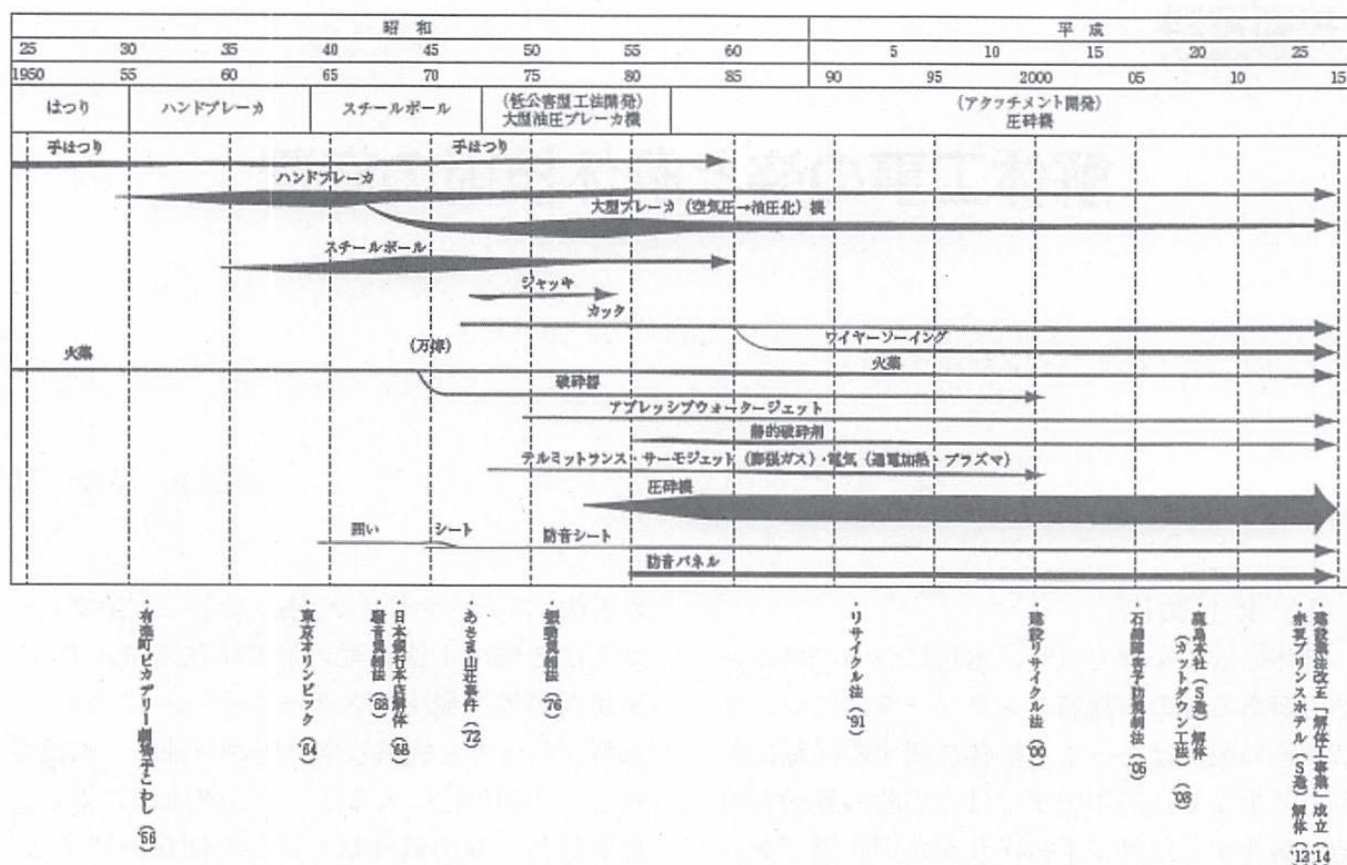
鉄筋コンクリート造の解体は、第二次大戦中に煙突などの引倒しはあったが、戦後は新築工事より遅れ1950年代に入り、はつり工法によりはじめられた。玄能（両手持の大ハンマ重さ5～20kgくらい）を用いて矢（楔）をコンクリートに打ち込み、大割りしてこわした。1958年の有楽町ピカデリー劇場の解体では、昼夜50人くらいの解体工（やま屋：元々石切を専門に行っていた業者）が働き、この工法でまさしく人海戦術で解体を行った。梁などでは上からスターラップを平のみで叩き切って、軸方向主筋の間に矢を打ち込み、柱は横倒ししてから帯筋を切り、解体した。ここでは、コンクリートの中にある鉄筋は綺麗に取り出していた。

第1図は、鉄筋コンクリート構造物の解体工法の変遷を示したものである。その後、ブレー

カ工法、スチールボール工法、そして大型ブレーカ工法と破壊工法に近い形で工法が進んだが、環境問題等の発生でスチールボールは衰退し、大型ブレーカも次第に空気圧から油圧へ転換された。1970年代に入ると、カット工法による部材別解体、静的破碎剤・電氣的間接破碎工法、ジャッキ工法などが試みられたが、圧砕工法がスチールボール、大型ブレーカ工法にかわって汎用工法となって現在に至っている（第1図）。

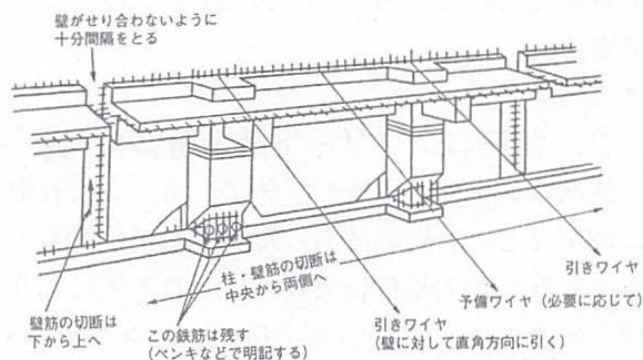
鉄筋コンクリート構造物の解体工法の進歩のスピードは遅かったといわれているが、その理由として、主として次のようなことが推察される。

- ① 鉄筋コンクリート造の解体工事は歴史が浅く、解体工法の開発研究が始まったのは1970年以降である。
- ② 従来は公害問題に対して、近隣住民があまりクレームをつけなかった。
- ③ スチールボール、ブレーカによる解体の能率が良かった。
- ④ 解体工事の発注形式に問題が多かった。すなわち解体後に建設される工事を受注するために、極端に低い価格で請け負うことが多く、安く、早くが最重点目標とされ公害対策は二の次であった。
- ⑤ 鉄筋コンクリートは、強固な材料であり、下記のような性質のため解体しにくい。



第1図 鉄筋コンクリート構造物解体工法の変遷

- (a) 通常の刃物による切削、ボーリングなどが困難である。
- (b) 質量および容積が非常に大きく、取扱いが困難である。
- (c) 燃焼せず、融点が高い。
- (d) 酸その他の薬剤によって侵されるが、液体の浸透性が小さく、短時間に変質させることはきわめて困難である。
- ⑥ 解体発生材 (副産物) の発生量が多く、再利用は限定されている。



第2図 外壁転倒の模式図⁽¹⁾

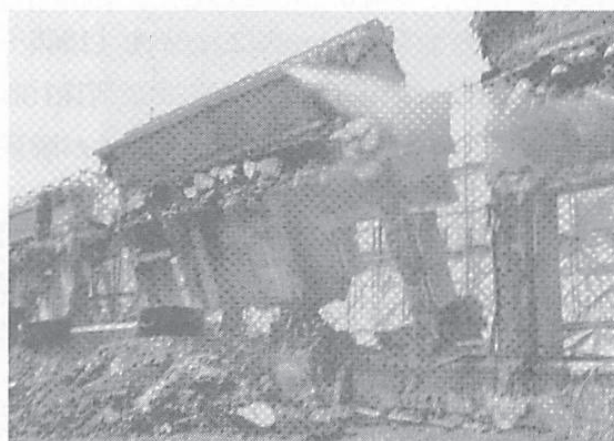


写真1 転倒による解体 (1963年頃)

3. 1955~1965年

(ハンドブレーカ工法展開の時代)

床スラブや梁を壊し、壁柱を引き倒す転倒工法が取り入れられはじめた (第2図、写真1)。これを当時、「大倒し」と称し、解体屋の「男の華」などとして、「心意気と技術」を誇ったようである。一方、土間や屋上シンダーコンクリートのはつりにピックハンマーが使用されは

じている。

朝鮮事変後、解体工事にもブレーカが使用されだす。当初は米軍の貸与で、重さは45kg程度であった。これにより解体工事はようやく機械化しはじめた。

それまでの解体は、1階分を解体するのに1ヶ月を要し遅いペースだったが、工期短縮化の時勢に相まって、徐々に機械化の方向に向かった。当時のピックやブレーカは、主として基礎や土間あるいは舗装の取壊しに多く用いられたようである。一方で、三又を組んでスチールボールを落とす方法も試みられ、コンクリート中の鉄筋はコンクリートを小塊にすることで分別し回収されることが多かったようである。

そして、軽くて使用しやすいピックやブレーカが国内でも生産されるようになった。

4. 1965～1980年（スチールボールから大型ブレーカ工法、

そして無公害解体工法模索の時代）

クレーン車などの大型機械が使用されるに及んで、1965年頃には本格的にスチールボールによる工法が解体工法の一つとして定着している。すなわち上階から順次床スラブを打撃して抜き、梁を切断し、最後に柱、壁を引き倒す工法である。

1968～69年に行われた日本銀行本店の解体工事では、クローラクレーン・トラッククレーンを使い、1～2.5tの重錘（スチールボール）を垂直に落下や横振させ、コンクリート部材を叩き壊した（写真2）。また、太く重いホースを引き回して、手持ちのニューマチックブレーカを何台も使ってコンクリートを壊した（写真3）。なお、この解体工事では、金庫室の鉄網コンクリート（幅約8mm、厚さ約6mmのエクスパンドメタルの網を約25mm間隔で積層し、豆砂利コンクリートを打ち込んだもの）の発破解体をしている。

しかしながら、1970年頃には、社会的な変化

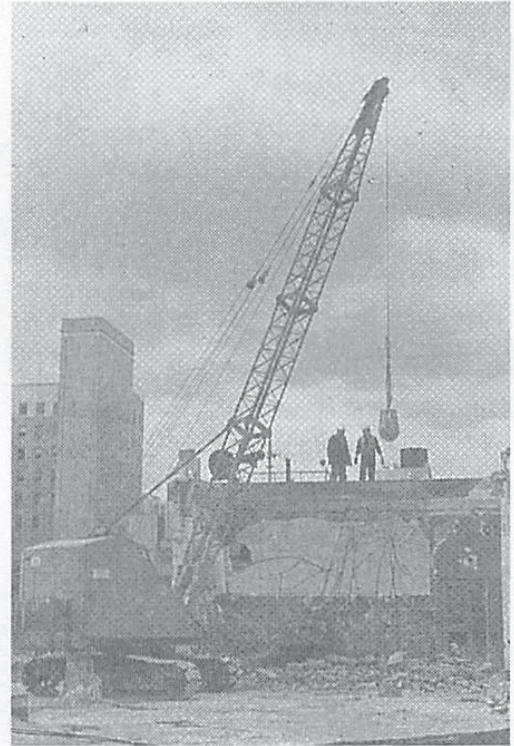


写真2 スチールボールによる解体
(日本銀行本店1970年頃)



写真3 ハンドブレーカによる解体
(日本銀行本店1970年頃)

に伴い振動、騒音、粉塵に対する公害がクローズアップされてきたことから、スチールボールにかわる鉄筋コンクリート構造物の解体工法が望まれるようになる。

その結果、油圧を利用したジャッキ工法（下から梁・床版をジャッキにより突き上げて破壊する工法：写真4）や圧砕工法（写真5）、カタで切る部材別解体工法（写真6）が考案・使用されるようになった。しかし、これらの工法



写真4 ジャッキ工法



写真5 1978年頃の圧砕工法

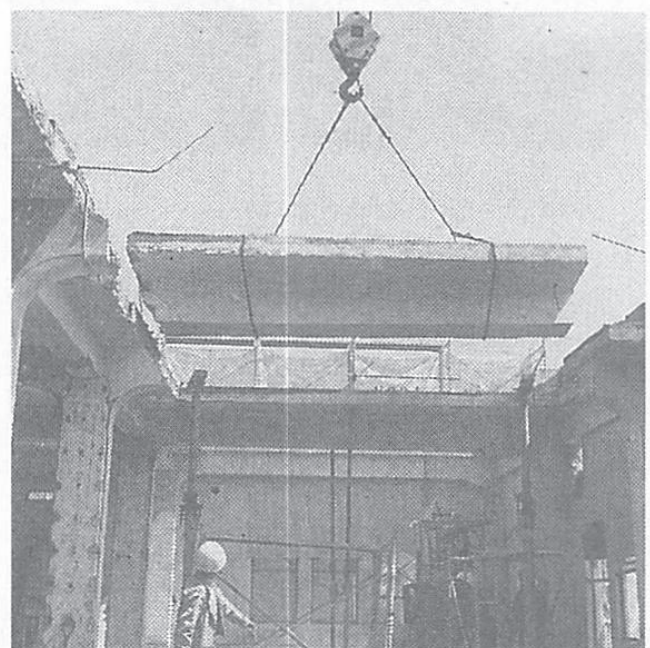


写真6 カッターによる部材解体

は実用的にはやや費用がかさむため、防音対策をしながらスチールボールや大型ブレーカ（写真7）により解体が行われた。



写真7 大型ブレーカによる解体

この頃、「鉄筋コンクリート造の無公害破壊工法指針」が建築業協会によって作成され、爆速の遅い破砕器（緩速火薬）や静的破砕剤による工法、ウォータージェット工法、さらには通電加熱工法、ワイヤソーイング切断工法などが、原子炉容器の解体ロボット化工法とも関連して研究開発された。

5. 1985年～現在（圧砕工法の時代）

1976年に英国から曲げを伴いかみ砕く“ニブラ”が導入されると、解体専門家・機械メーカーの手によって新しい解体機が製作され、使用されるようになった。これは、これまで建設業者が主導してきた解体工法の開発が、解体専門家・機械メーカーに移ったことでもあった。

騒音・振動が比較的少なく、能率も高い圧砕機は、スチールボールを駆逐し、大型ブレーカにも取って代わって解体機械の主流となり、圧砕工法は、最も一般的な工法として位置づけられ、2015年の今日に至っている（写真8）。そして、対象構造物の構造・形状・立地条件などにより、①上層階に重機を揚重し上階から各階毎に解体を行う階上解体工法、もしくは②地上に置いた重機により上階から順に解体する地上

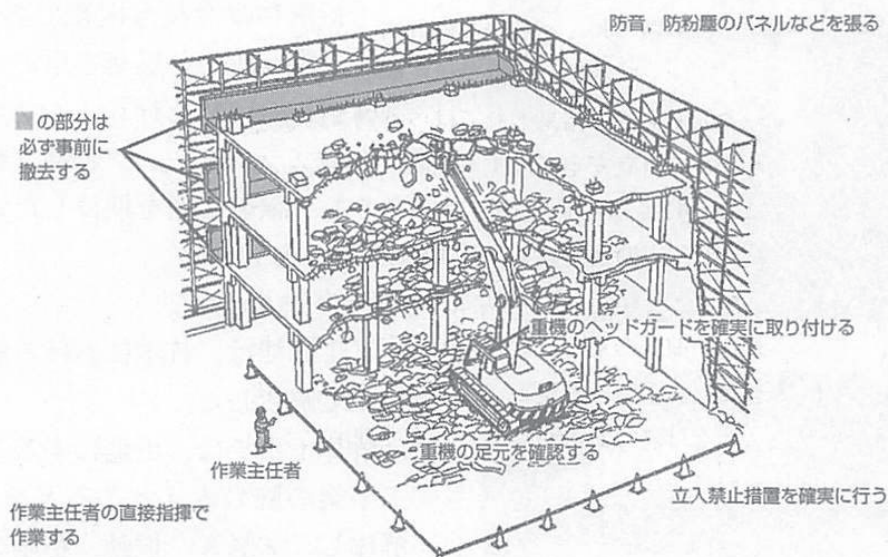
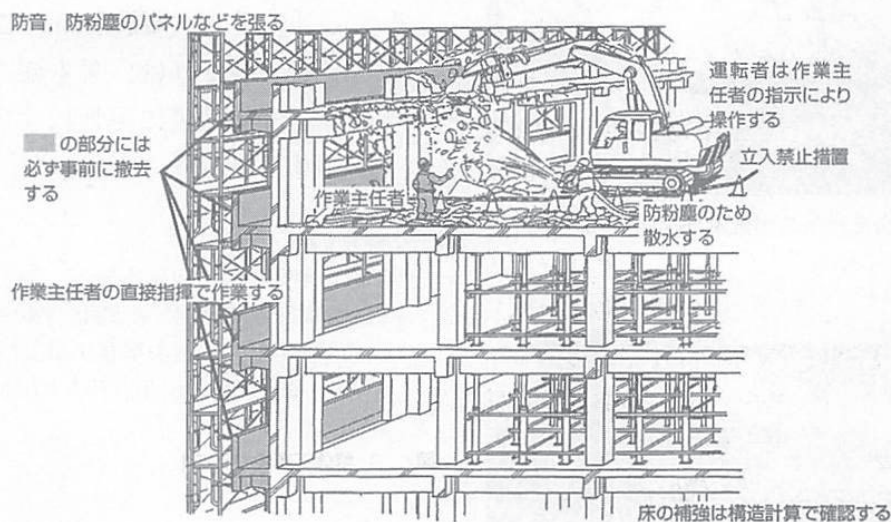


写真8 現在の圧砕アタッチメントと重機

解体工法で解体が進められている。

地上解体工法（第3図）は、3～4階くらいまでの高さの建物に1980年頃から適用されていたが、近年、40～60m級のロングブーム圧砕機が開発され、建物周囲に解体機が移動できるような空き地がある場合、高さ35mくらいまで、地上から解体できるようになった。オペレータは、ブームの上部に付けたカメラの画像を見ながら圧砕機を操作することになった。

階上解体工法（第4図）は、1980年頃からは行われ、現在では市街地における高層建物の解体で積極的に適用されている。この工法では、最

第3図 地上解体の作業⁽²⁾第4図 階上解体の作業⁽²⁾

上階に圧砕機を吊り上げるためのクレーンが必要で、クローラクレーンなどを用いる場合は、その揚重性能に対応した重量の圧砕機に限定されることになる。一般に、15t程度の圧砕機が限度である。

近年、構造物新設における最新技術が圧砕工

法の適用を困難にしているケースもみられるようになった。SRC造、CFT造、そして高強度・超高強度コンクリートを使用したRC造は、圧砕工法で解体することが極めて困難である。解決しなければならない重要な課題である。

さて、アメリカでみられる火薬による一括解体は、わが国においては、1988年つくば科学万博ドーム、三菱炭鉱高島社宅（写真9）、そして1992年のレイクサイドビル（写真10）で試みられた。しかし、わが国における発破工法の建築物への適用は、経済性・安全性・経済活動制限・防犯性の観点を含めて容易ではないとされている。

一括解体は今後も困難であると思われるが、できる限り少ない爆薬を用いて部材・ブロック割レベルの解体を行うミニブラスティングやマイクロブラスティングと称される技術は有用であり、今後の展開を期待したいところである。

6. おわりに

ここまでは、日本における解体技術の変遷について解説した。

解体工事では、更地にするまでの過程が解体工事業の腕のみせどころとなる。①「安全に」解体し、②騒音、振動、粉塵などで「周辺に迷惑をかけず」に、③解体材の処理に関して「自然環境を破壊につながらせず」に、そして④なるべく「安く」、⑤「早い」ことが、その評価軸となる。つまりは、誰もがストレスを感じずに、すっきり綺麗に更地にすることが解体における心得となろう。

<参考文献>

- (1) 全国解体工事業団体連合会：“解体工事技術講習テキスト（解体工事技術編）”、p.248（2018.9）
- (2) 中橋博治：“RC造の解体工事”、まるごと「解体工事」NOW、建築技術、pp.150-153（2011.7）

（筆者紹介はp.71掲載）



写真9 三菱炭鉱高島社宅の爆破解体実験（1988年）



写真10 レイクサイドビルの爆破解体実験（1992年）

THE TRANSITION OF DEMOLITION TECHNIQUES IN JAPAN

Noboru Yuasa

College of Industrial Technology, Nihon University

1. Abstract

When considering the history of demolition, we have to accept that there are very few written records regarding demolition until about 1965, except for summarized stories of those affiliated with an architectural job. Contrary, there is a long-written history of wooden construction as well as records of the application of reinforced concrete on newly built constructions. In addition, it was after 1955 (Showa Year 30) when the full-scale demolition of a reinforced concrete construction was carried out.

2. Outline of Demolition During a Reinforced Concrete Structure

The demolition of reinforced concrete structure started with the use of chipping method in the 1950s. Although demolition of chimneys were carried out during the time of war, the demolition of reinforced concrete structure started much later than the new constructions that were built after World War II. A chipping hammer in Japanese is called, *Gen-no* which is a large hammer with both hands that weights from 5 to 20kg (11-44 lbs). The hammer drives an arrow (wedge) into the concrete and breaks it into pieces. During the demolition of the *Yurakucho Pikaderie Theater* in 1958, around 50 demolition workers (known as *Yamaya*: a quarryman) worked day and night using this method. This method of demolition was utilized in a large-scale mobilization of labor. The beam was knocked off the stirrup flatly from above, and an arrow was driven between the axial main bars. Here, the reinforcing bar inside the concrete was taken out neatly.

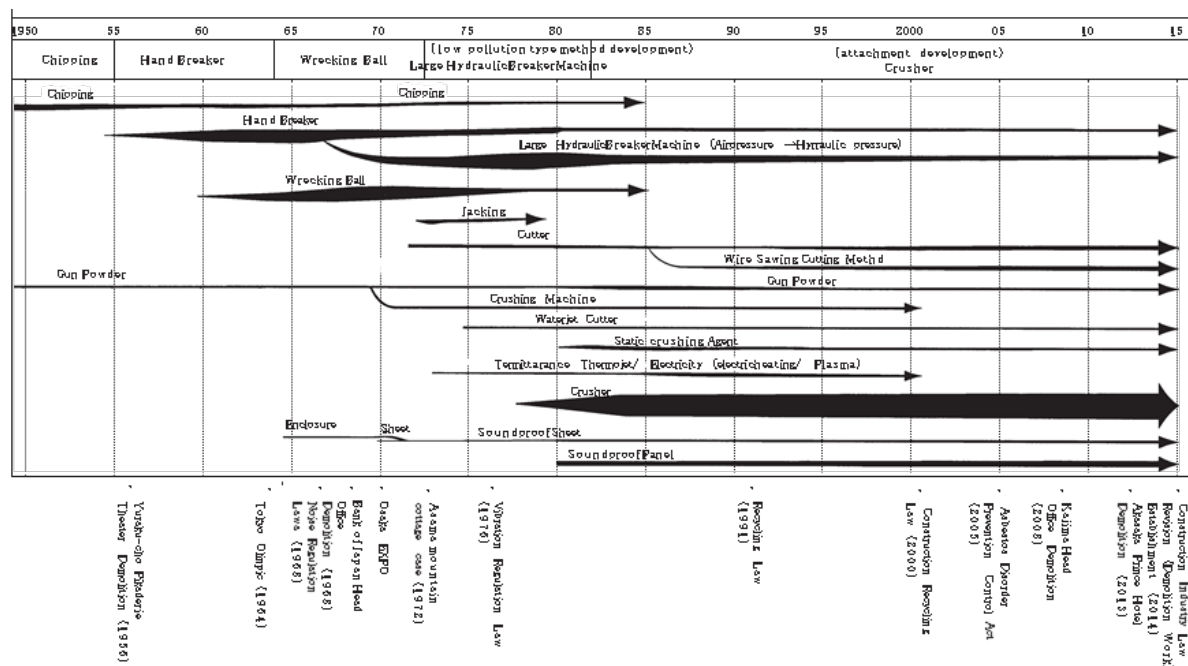


Figure 1 Transition in Reinforced Concrete Structure Demolition Method

Figure 1 shows the transition of the demolition method for reinforced concrete structures. After that shows the breaker method, the wrecking ball method and the larger breaker method. These are all types of destruction methods which proceeded but due to environmental issues and concerns, the use of wrecking ball methods have declined and larger breaker methods have gradually changed from pneumatic pressure to hydraulic pressure. When entering the 1970s, using the cutting method, disassembly by parts, use of static cracking agents, electrical indirect crushing methods and jacking methods were tested. Currently, the crushing method is considered the general-purpose method, replacing the wrecking ball methods and larger breaker methods (Figure 1). It has been said that the speed of progress in the methods of demolition reinforced concrete structures were fairly slow, and the main reasons are speculated to be as follows:

1. Demolition work on reinforced concrete structure has a short history, and development research on the demolition method started in 1970 or later.
2. In the past, local residents did not often make complaints about the environmental concerns (pollutions, etc.).
3. Demolition using the wrecking ball methods and breaker methods were really efficient.
4. There were many issues with the ordering system of the demolition work. In other words, in order to receive orders for construction post demolition, it is often the case that the contract's highest priority to be extremely lowly budgeted and done in a short duration. Concerns regarding pollution control was a secondary priority that came after that.
5. Reinforced concrete is a strong material and is hard to demolish due to the following properties:
 - (a) It is difficult to cut with a normal blade, such as boring (drilling a hole and enlarging an existing hole).
 - (b) The mass and volume are very large and it is difficult to handle.
 - (c) Would not burn and has a high melting point.
 - (d) Even though acids and other chemicals can be invasive, it is extremely difficult to change the properties in a short time and the permeability of the liquid is small.
6. The amount of demolished material (by-product) is large and there is a limitation when reusing the material.

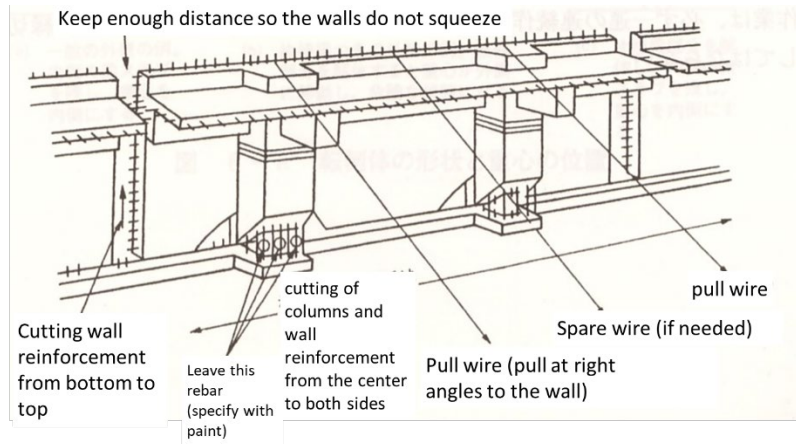


Figure 2 Schematic diagram of falling outer wall



Photo 1 Demolition due to a fall (around 1963)

3. Year 1955-1966 (Development of the Era of Hand Breaker Method)

During this period, the overturn of the structure was incorporated where the floor sludge and beams were destroyed and the wall and the columns were pulled down (Figure 2, Photo 1). At the time, this method was named “overthrow”, where demolition expertise would describe this as a “man’s flower”, meaning a man’s pride, proving their spirit and skills. On the other hand, pick hammers have begun to be used to shave/chip the floating slab foundations (slab-on-grade) and rooftop cinder concrete slab structures.

After the Korean War, breakers were also used for demolition work. Initially, the breakers were loaned by the US military and weighed around 45 kg (100 lbs). Eventually, the demolition work was finally mechanized.

Prior to then, demolishing one floor took about a month, which was a slow pace. However, along with the trend of shortening the duration of construction period, demolition work gradually moved toward mechanization. Picks and breakers during that time seemed to have been used mainly for demolition of foundations, floating slab foundations (slab-on-grade) and pavements. On the other hand, attempts were also made to drop the wrecking ball by using a triad (three-pronged) structure, and it seems that the reinforcing bars in concrete were often collected after separating concrete into small blobs. Along with this came the domestic production of picks and breakers that were light and durable.

4. Year 1965-1980 (From Wrecking Ball Method to Larger Breaker Method, and an Era of Pollution-Free Demolition Method)

Around 1965, among crane trucks and other large machineries, the use of wrecking balls as a demolition method has been more so established. In other words, it is a method of hitting the floor slab from the upper floor in subsequent order, pulling out the beams, cutting the beams, and finally pulling down the columns and walls.

During the demolition work of the head office in the Bank of Japan from 1968 to 1969, a crawler crane/truck crane was used to vertically drop or shake a 1-2.5-ton weight (wrecking ball) to knock down concrete parts. (Photo 2). In addition, a thick and heavy hose was laid around, and concrete was broken using many of the hand-held pneumatic breakers (Photo 3). In this demolition work, iron mesh concrete in the vault (8 mm wide and 6 mm thick expanded metal sheets were stacked at intervals of about 25 mm and pea gravel concrete was poured) were demolished.

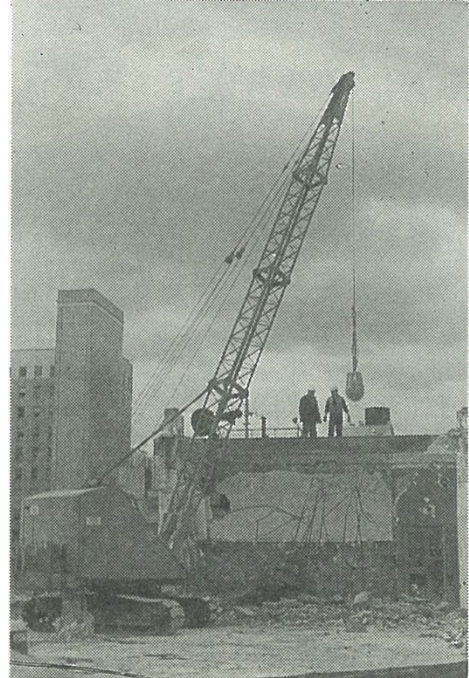


Photo 2 Demolition due to a wrecking ball (Bank of Japan Head Office around 1970)



Photo 3 Demolitions due to a hand breaker (Bank of Japan Head Office around 1970)



Photo 4 Jacking Method



Photo 5 Crushing Method around 1978

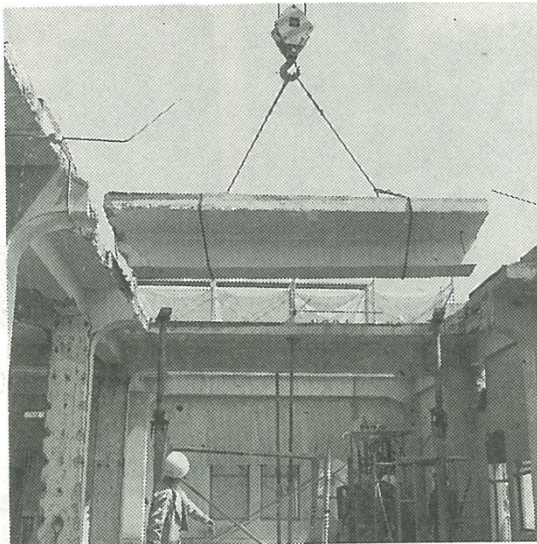


Photo 6 Parts demolition using a cutter



Photo 7 Demolition using a large breaker

However, since around 1970, due to the social changes accompanied with an increase of vibration, noise and dust pollution, demolition methods of reinforced concrete structures using wrecking balls has become more desirable and fit.

As a result, jacking method using hydraulic pressure (construction method of breaking up the beam/slab from below with a jack: Photo 4), crushing method (Photo 5), and cutting each material with a concrete cutter (Photo 6), have been devised and utilized.

However, since these construction methods were slightly expensive in practice and unrealistic, they were demolished with wrecking balls and large breakers (Photo 7) with soundproofing measures. During this time period, the Japan Building Industry Association created the "Guideline for Pollution-Fee Destruction of Reinforced Concrete Construction". Research related to construction methods using a crusher with slow detonation (slow explosive), methods using static crushing agents, water jet methods, electric heating methods, wire sawing cutting



Photo 8 Current crushing attachment and heavy machine

methods, has been developed among with connections to the method of demolition of the reactor vessel robot.

5. Year 1985- Current (Era of Crushing Method)

In 1976, when a “nibbler” was introduced from the UK that chews down bends, a new demolishing machine was built and used by the hands of a demolition specialist/machine manufacturer. This was partly due to the development of the demolishing method, which had been led by construction companies later transferring to the hands of a demolition specialist/machine manufacturer. The crusher, which has relatively low noise and vibration and is highly efficient, drives away wrecking balls and replaces large breakers to become the main stream of demolishing machines. The crushing method is positioned as the most common method of demolition leading up to 2015, today (as seen in Photo 8). Depending on the structure, shape, and location condition of the model structure, either (1) lift the heavy equipment to the upper floor and demolishes each floor from the upper floor, or (2) demolition by a ground demolishing method that demolishes from the upper floor in subsequent order by heavy equipment placed on the ground. Ground demolishing method (Figure 3) has been applied to buildings that scale and height from 3rd to 4th floor buildings since about 1980. However, in recent years, a 40-60m class long-reach crusher boom has been developed, and if there is an open space where a demolition machine can be moved around the building, it can be demolished from the ground up to a height of about 35m. The operator decides to operate the crusher by looking at the Photo of the camera attached to the top of the boom.

The top down method (Figure 4) has been used since around 1980, and is currently being actively applied to the demolition of high-rise buildings in urban areas. With this method, a crane for hoisting the crusher on the top floor is necessary, and when using a crawler crane, it is limited to a crusher with a weight corresponding to its lifting performance. In general the limit is about 15 tons.

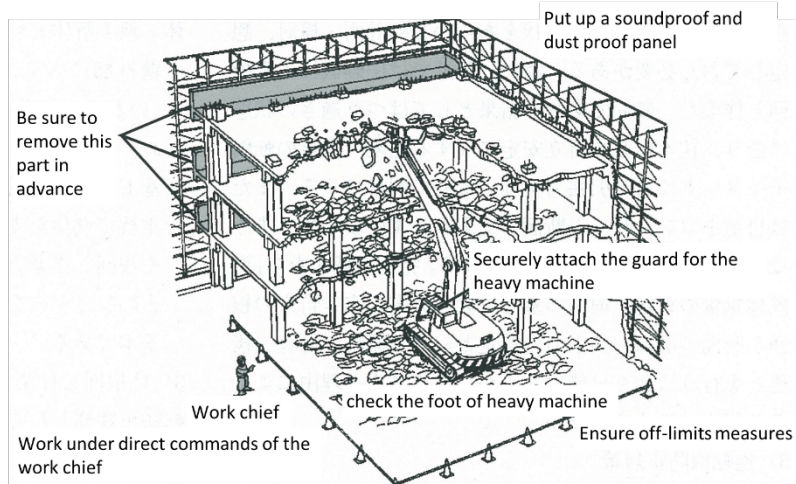


Figure 3 Work during ground demolition work

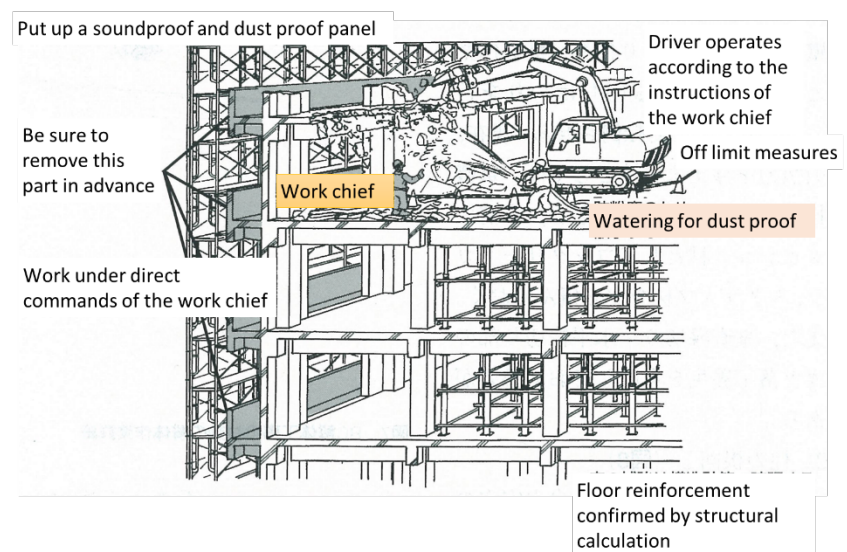


Figure 4 Work on dismantling upper floors



Photo 9 Bomb dismantling experiment at Takashima company house of Mitsubishi coal mine (1988)

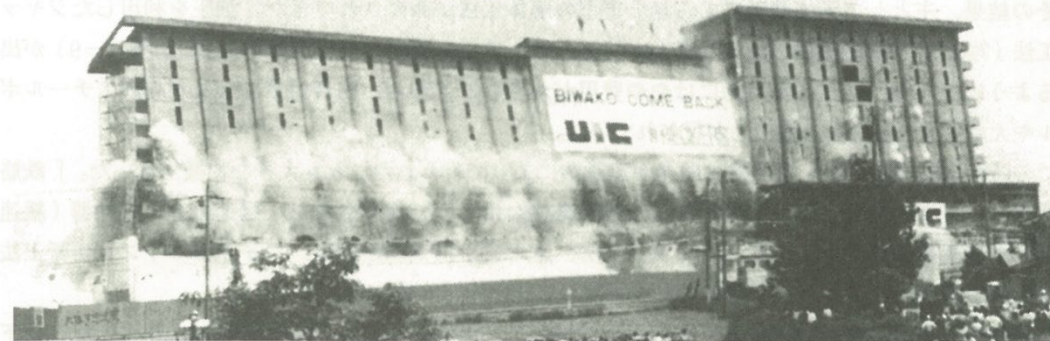


Photo 10 Bomb dismantling experiment at Lakeside Building (1992)

In recent years, in particular cases, it has become difficult to apply the latest technology, the crushing method, to the construction of new structures. Steel reinforced concrete structure (SRC), concrete filled tube structure (CFT), and reinforced concrete structure (RC) using high-strength and ultra-high-strength concrete are extremely difficult to demolish by the crushing method. These are important issues that must be resolved in the near future. The mass demolition of explosives utilized in the United States can also be seen in Japan as well: it was attempted at the 1988 Tsukuba Expo Dome, the Mitsubishi coal mine Takashima Company Housing (Photo 9), and the 1992 Lake Side Building (Photo 10). However, critics view that the application of the blasting method to buildings in Japan is not simple from the viewpoints of economic efficiency, safety, economic activity limitation, and crime prevention.

It seems that collective demolition will continue to be difficult in the future, and technologies like miniature blasting and micro blasting, which demolishes materials and block division levels using as few explosives as possible, seem to be useful. There are hopeful advancements that can be foreseen in the near future in this field.

6. Ending

This article explained the transition of demolition technology in Japan. The demolition work will be the process of the vacant lot, or the skill of the demolition work: (1) To demolish “safely”, (2) to minimize the damage/trouble for surrounding neighbors in regards to noise, vibration and dust, (3) with regard to the processing of demolishing materials, the most important evaluation is “to not bring the natural environment into destruction”, (4) cheap, and finally, (5) speediness of the work. Those five aspects are considered the axis of evaluation. To put it short, the goal of those involved in the demolition work is to be able to demolish the land in a clean and tidy manner without stressing everyone involved during the process.

日本における超高層ビルの解体

日本大学教授 湯浅 昇

日本では、現在高さ 100m 以上の超高層ビルが 700 棟以上ある。竣工当初は時代の最先端だった超高層ビルも 30～40 年も過ぎれば機能・性能は陳腐化し、近年、大地震時の長周期地震動が高層ビルでは問題となることがわかってきた。補強・リニューアルには限界があり、今後、超高層建物の建替が増加してくると予想されている。

2012～2013 年、東京の赤坂プリンスホテル新館（地上 39 階・塔屋 1 階・地下 2 階、高さ 138.9m）が解体され、日本では、テレビや新聞で大きく取り上げられ、広く一般市民や国際社会の興味を引くことになった。

高さ 100m を超える超高層ビルの解体は、従来の解体工法では、解決しなければいけない問題が山積している。超高層ビルは、都市部に立地し、解体工事上の制約条件が多い。上空の風は地上の数倍にもなり、仮設足場や養生材の設営・撤去が高所危険作業となることに加え、粉じんの広範囲への飛散、解体部材の飛来落下の危険性、騒音・振動の伝播などに、配慮しなければならなく、解決すべき課題多岐にわたる。

日本における 5 大ゼネコン各社は、超高層ビルの解体を、様々な技術開発を経て提案、先導的に手がけてきた。

各社が、日本建設業連合会において、超高層ビルの解体に関して公開した資料、ホームページでの公開情報に基づき、概要を紹介する。

(1) 鹿島渥設「鹿島カットアンドダウン工法」

下層部の各柱位置に設置されたジャッキで、建物全体を支持しつ、下階を解体する。各柱は解体された層ごとに、速やかにジャッキを操作し上階荷重を支え、建物全体の同じ層の解体が終了した時点で、全ジャッキで建物全体をダウンさせる。これを繰り返して解体工事を進める工法である。

従来工法に比し騒音や粉じんの飛散を抑制できる。また、常に地上付近で一定の作業を繰り返して行うため、環境対策設備や施工設備を盛り替える必要がなく、周辺環境への影響因子について、一定の場所で確

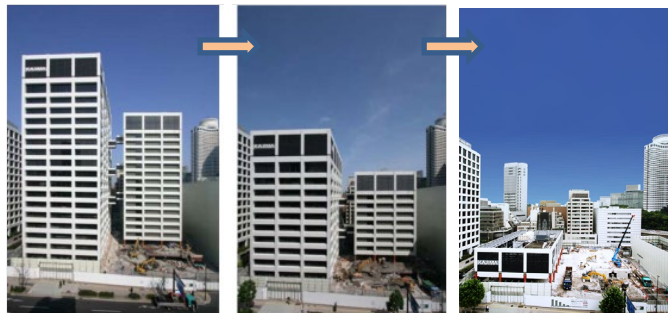


図-1 鹿島カットアンドダウン工法

実に対策でき、高所作業削減による安全性向上に効果がある。

下階に設置されたジャッキにより、上層階の全荷重を支えることになるが、地震対策のため、鉄筋コンクリート造のコアウォールを解体前に設置し、荷重伝達梁による耐震機構により、耐震性を確保している。

2008 年、鹿島建設旧本社ビル（S 造）解体工事ではじめて適用された。

(2) 大成建設「テコレップシステム」

まず、最上階の躯体を壊さずに有効利用して解体を行う閉鎖空間をつくる。そして、ジャッキを内蔵した仮設の柱を設置し、1フロアごとにジャッキで解体階を自動降下させていく。解体する空間を閉鎖空間とすることで、部材の飛散・落下、粉じんの飛散、騒音・振動などの問題を大幅に改善できる。

最上階の躯体には水平搬送用のスライド式天井クレーンを、床面開口部には垂直搬送用のテルハを設

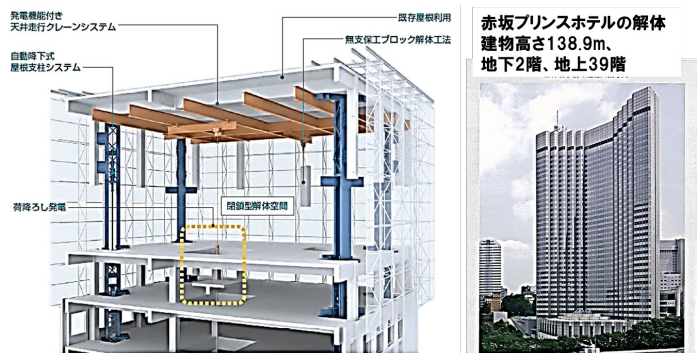


図-2 大成テコレップシステム

2011 年東京・大手町フィナンシャルセンター（S 造）で初適用し、引き続き 2012 年東京・赤坂プリンスホテル新館（S 造）で適用され、日本では高層ビル解体として大きな話題を振りまいた。その後、鉄筋コンクリート造の超高層建物にも適用可能な「テコレップ - Light システム」の開発し、2019 年、実構造物に適用した。

同工法はもともと「ブロック解体工法」とネーミングされ、建物をビル上層部から、コンクリートのスラブはカッターにより切断などしてブロック化した解体部材を、通常では新築工事で使うタワークレーンを使い、地上まで吊り下げて、専用の処理サイトで分別処理するシステムである。

ここでは、柱・梁の切断作業に必要な一切の機能を集約したアタッチメントの開発も行うなどで更に効率化を図っている。

(4)大林組「キューブカット工法」

スカイジャスター

- 高層部の姿勢を安全に保つ

キューブカット工法

- 材質: Qualcastro®
- 鉄骨 (Steel)
- 芯柱 (Core)
- フロア (Floor)
- 5層以下フロア部解体
- 振動・騒音・粉塵を大域に低減

ハイクット工法

- 下ライフ・アイスの前を吹き付け、アスベストを完全除去

1 1層式建蔽率

2 自動降下式建蔽率測定

- 高層部の安全を確保する

3 大型資材の吊り上げ (130t)

- 資材搬出の効率化

4 スカイジャスター

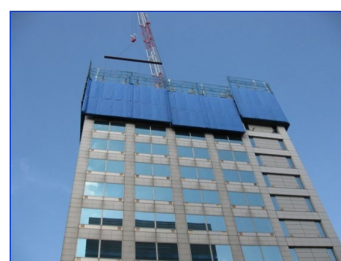
5 キューブカット工法

内装・アスベスト除去

図-4 大林キューブカット工法



—解体施工狀況—



※盛替えは、タワークレーンを用いる

—外周スライド足場1ユニットと盛替—

図-3 清水リバー・コンストラクション工法

振動・騒行の
小さい機械によ
り切断解体を先
行して進め、ク
レーン作業の効
率化を図り、短
工期化を実現す
る。

同時に、構造
フレームの切断
手順・倒壊防止対策により、解体工事中の地震に対しても切断された部材の安全を確保する仕組みとなっている。



図-3 竹中ハットダウン工法

(5)竹中工務店「竹中ハットダウン工法」

ビル上部に周囲を覆った移動式解体工場“ハット”を設置し、下階へ移動させながら順次ビルの解体を行う工法である。

ハット内部には、天井クレーンを含む解体設備が一体設置されており、解体する建物躯体を包みながら隙間なく降下し、解体材も全て建物内部を通して降ろすため、従来工法に比しより安全で環境にやさしい。

ハットの内部でカッターやワイヤーソーを用いてブロック単位に切断するため、粉じんや騒音の拡散を低減できる。解体したブロックは建物内部から天井クレーンで降ろすので周辺への飛来落下の恐れがなく、都心部の工事に有効である。

2012年、大阪・旧ホテルプラザ（地上1～4階SRC造、5～23階S造、地下RC造、高さ88m）適用させている。高層部がRC造でも適用とされる。

DEMOLITION OF SKYSCRAPERS IN JAPAN

Noboru Yuasa

In Japan, there are currently more than 700 ultra-high bending buildings with a height of 100m (328 ft) or more. The function and performance of the ultra-high bending buildings that were at the forefront a couple decades ago at the beginning of construction were obsolete after 30-40 years. In recent years, it has been discovered that long-period ground motion during an earthquake is a problem in high-rise buildings. There is a limit to the reinforcement and renewal, and it is expected that reconstruction of super high-rise buildings will increase in the future.

In 2012-2013, the new building of Akasaka Prince Hotel in Tokyo (39 floors above ground, 1 floor of penthouse, 2 floors of basement, 138.9m (456ft) in height) was demolished. In Japan, as well as from the international community, the general public were intrigued and the news was widely featured on TV and newspapers.

Demolition of a skyscraper that exceeds 100m (328 ft) in height leads to unresolved issues in the conventional demolition method that needs to be addressed. Skyscrapers are mostly located in urban areas, and there are many restrictions on demolition work compared to suburban and rural lands. There is a wide variety of issues that must be resolved: the wind in the sky being several times higher than that on the ground, the work of installing and removing temporary scaffolds, curing materials being a dangerous task at high places, dust being scattered over a wide area, the risk of dismantling members getting injured increasing, noise complaints and the propagation of vibration.

The five major general contracting companies in Japan have been paving the way in proposing the demolition skyscrapers through various technological developments.

The outline of each company will be introduced based on the materials released by the Japan Construction Federation and the information published on the website regarding the demolition of skyscrapers.

(1) Kajima Corporation (Kajima Cut and Down Method)

Jacks installed at each pillar position in the lower floor support the entire building and demolishes the lower floor. For each column, the jack is promptly operated to support the load on the upper floor for each demolished layer, and when the demolishing of the same layer of the entire building is completed, the entire building is brought down with all jacks. This is a method of repeating demolition work by repeating this procedure.

With this method, noise and dust scattering can be suppressed compared to the conventional demolition methods. In addition, because constant work is always repeated near the ground, it is not necessary to refill environmental measures equipment and construction equipment. Also, the factors affecting the surrounding environment can be ensured at a fixed place and can be addressed steadily. Effective measures are taken to improve safety by reducing work in high places. The jacks installed on the lower floor will support the entire load of the upper floors, but to prevent earthquakes, a reinforced concrete core wall is installed before dismantling and seismic resistance is secured by the seismic mechanism using load transfer beams. This procedure was first applied in 2008 in the demolition work of the former Kajima Corporation head office building (Steel structure).

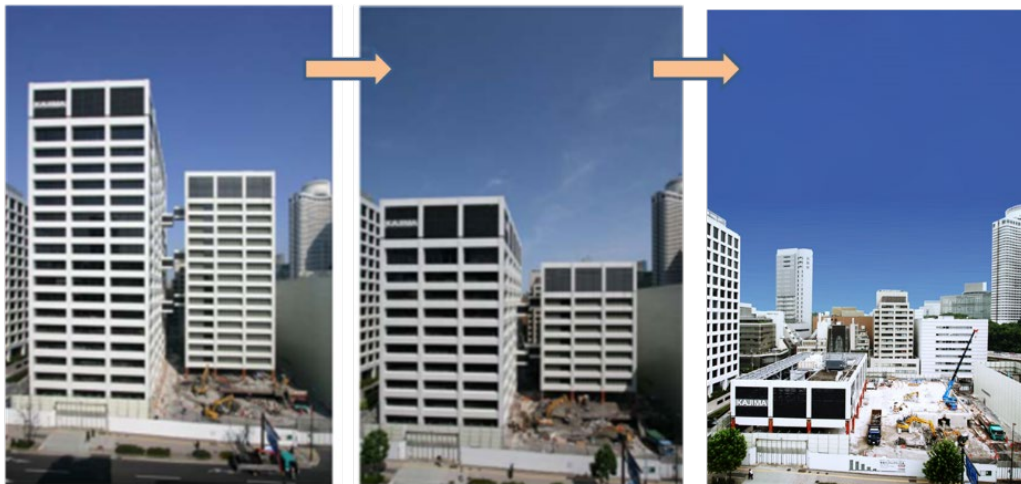


Image 1 Practical Use of Kajima Cut and Down Method (2008)

(2) Taisei Corporation (Taisei Tecolep System)

First, we will create a closed space that can be dismantled by effectively utilizing the structure on the top floor without breaking it. Then, a temporary pillar with a built-in jack is installed, and the dismantling floor is automatically lowered by the jack for each floor. By making the demolishing space a closed space, improvements can be made in terms of scattering/ falling parts, scattering of dust, noise, and vibration.

A slide type overhead crane for horizontal transportation is installed on the top-floor frame, and the telfer for vertical transportation is installed on the floor opening, and the disassembled members are unloaded by the crane. In addition, the free fall energy of the dismantling material that occurs during unloading is used to generate electricity to achieve a thorough energy reduction. This method was first applied at the Otemachi Financial Center (Steel structure) in Tokyo in 2011, and subsequently applied at the Akasaka Prince Hotel New Building (Steel structure) in Tokyo in 2012, which became a sensation in Japan as a demolished skyscraper. It has also been announced that the Taisei Ecological Reproduction System, known as “Tecolep-Light system” in Japan is applicable to the super high-rise buildings made by reinforced concrete. This “Tecolep-Light system” was applied in 2019.

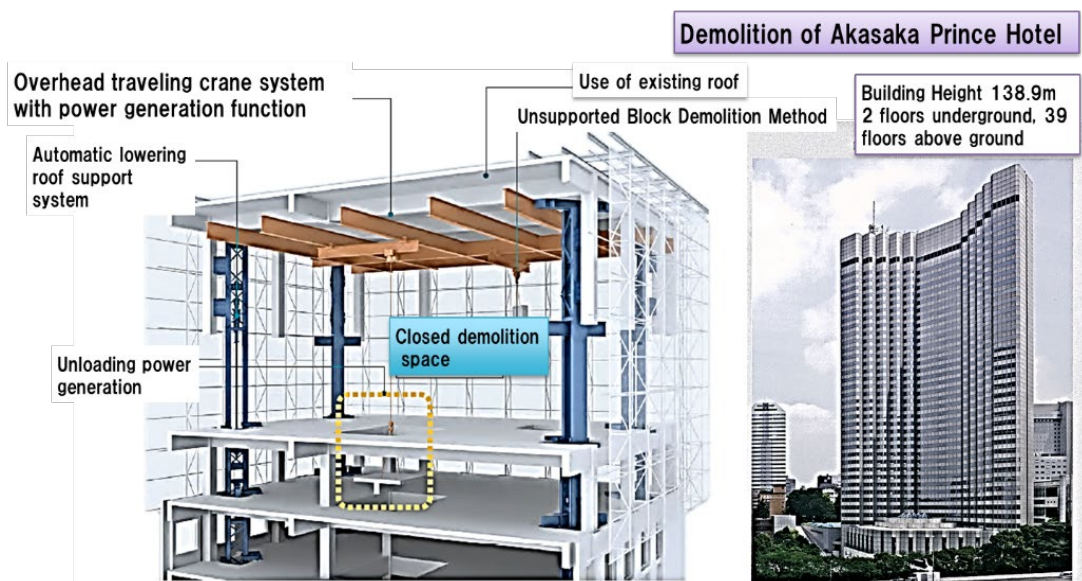


Image 2 Taisei Tecolep System



Demolition Construction Status



Periphery slide scaffold 1 unit and reshuffle

✕ use a tower crane for rearrangement

Image 3 Shimizu Reverse Construction Method

(3) Shimizu Corporation “Shimizu Reverse Construction Method”

This method was originally named as “the block dismantling method”, and the building was demolished from the upper part of the building to ground by using the tower crane, which is commonly used in newer constructions to dismantle the concrete slab into blocks by cutting with a cutter. This is a system that suspends and sorts at a dedicated processing site.

By combining skillful existing technologies that are highly reliable and have a proven track record, and by repeatedly disassembling the work efficiently, this process is extremely simple and unnecessary temporary equipment can be omitted. There are almost no restrictions when applied, and has excellent versatility.

Here, we are working to further improve efficiency by developing an attachment that integrates all the functions required for cutting the pillars and beams.

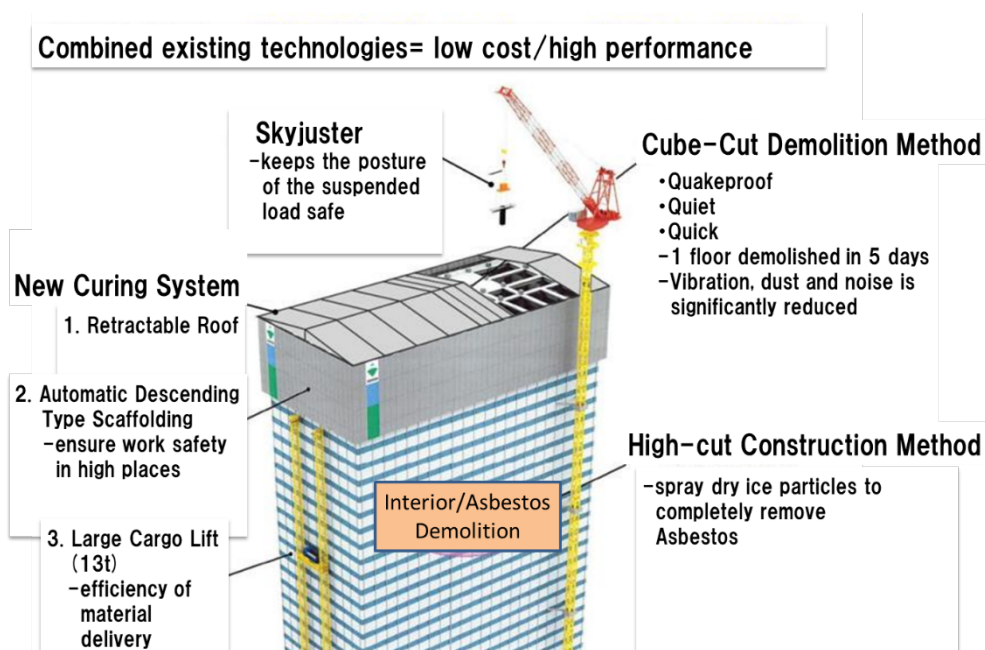


Image 4 Obayashi Cube-Cut Demolition Method

In 2008, it was applied to an S structural building with 2 basements and 14 floors above ground (CFT columns from 2nd to 14th floors).

(4) Obayashi Corporation (Obayashi Cube-Cut Demolition Method)

Without crushing the structural members of floors, beams, and pillars, they are cut and lowered to the ground with a tower crane, sorted and carried forward on the ground to improve the efficiency of crane work and to implement shorter construction periods. At the same time, the cutting procedures of the structural frame and the measures that prevents collapsing ensures the safety of the cut parts against earthquakes during demolition work.

(5) Takenaka Corporation (Takenaka Hat Down Method)

This is a construction method in which a mobile demolition factory “hat” that covers the surrounding area is installed at the top of the building and the buildings are demolished sequentially while moving to the lower floor.

Inside the hat, demolishing equipments including an overhead crane is installed integrally, and it descends without a gap while wrapping the building frame to be demolished. All demolishing materials are lowered through the inside of the building. Therefore, it is safer and more environmentally friendly compared to the conventional method.

Since the cutter and wire saw are used to cut into blocks in the hat, diffusion of dust and noise can also be reduced. The demolished block is taken down from inside the building by an overhead crane, so there is no risk of parts falling down to the surroundings, which is effective for construction in urban centers.

In 2012, this method applied to the demolition of former hotel plaza in Osaka (1st-4th floor SRC construction, 5th- 23rd floor S construction, RC construction underground, height 88m (289 ft)). It is also applicable when the high-rise part is made of RC.

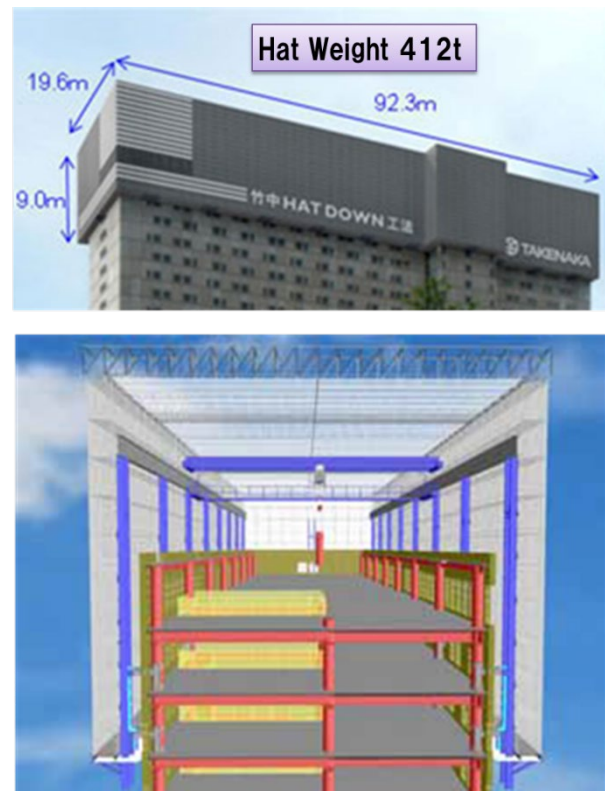


Image 4 Obayashi Cube-Cut Demolition Method

高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷に関する研究

APPLICATION OF CRUSHING METHOD TO THE DEMOLITION OF HIGH-STRENGTH AND ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

湯浅 昇^{※1}

Noboru Yuasa

1. はじめに

2014 年 6 月、建設業法が 43 年ぶりに改正され、「解体工事業」が業種として確立した¹⁾。

1960 年頃、我が国は高度経済成長期を迎え、数多くの建築物が建てられた。しかし、その頃の建築物が老朽化や美観性の低下などで解体され、近年解体工事件数は増加している²⁾。設計基準強度が 60N/mm^2 を超える高強度コンクリートを用いた建築物が 1990 年代から建設されているが、今では設計基準強度が 200N/mm^2 を超える超高強度コンクリートも実用化されている。今後高強度・超高強度コンクリートを用いた構造物の解体技術が必要になると考えられる^{2) 3)}。

しかし、これまでは建物の「建築」に関する研究に重きを置いていたため、「解体」に関する研究は少なく、高強度・超高強度コンクリート構造物解体技術は未だ確立されていない⁴⁾。

本研究は、高強度・超高強度コンクリート構造物解体技術の開発を目的に、高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷を検討するものである。まず、無筋コンクリート試験体により加圧方法が破壊荷重に及ぼす影響を明らかにし、次に模擬梁部材により圧砕室内実験及び実機圧砕実験を行った。

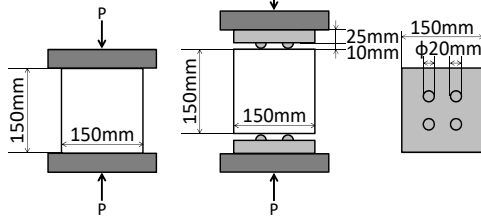
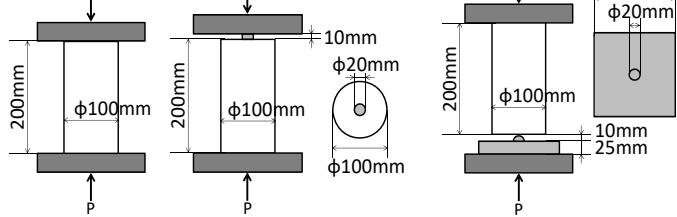


写真-1 油圧シャベルとアタッチメント

※1 日本大学生産工学部建築工学科 教授・博士（工学）

表-1 コンクリートの調合及び性状

水セメント比 (%)	骨材	単位水量 (kg/m ³)	質量(kg/m ³)			No.70 (g)	SP-8N (g)	ssp104 (g)	303A* (g)	スランブ値 (cm)	フロー値 (cm)	空気量 (%)	練り温度 (°C)	* 100倍希釈	
			セメント	細骨材	粗骨材									圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
60	大井川	185	308	836	939	771	-	-	1993	18.5	-	4.5	22.0	31.4	2.98
40	大井川	185	463	671	977	-	1852	-	3239	23.0	-	5.1	22.0	34.9	3.12
20	大井川	155	775	647	801	-	-	6200	-	-	58.0×56.2	8.0	20.0	103	5.46
	飯淵	155	775	650	798	-	-	6200	-	-	46.6×46.0	9.5	22.0	113	5.86
16	大井川	155	969	573	708	-	-	2960	-	-	70.0×68.0	7.5	21.0	138	4.90
	飯淵	155	969	575	708	-	-	2960	-	-	69.0×67.5	5.8	20.5	151	3.74
13	大井川	155	1192	603	603	-	-	35770	-	-	67.5×67.0	5.0	21.0	188	5.12
	飯淵	155	1192	601	601	-	-	35770	-	-	59.0×58.0	3.8	21.0	211	4.37

図-1 立方供試体加圧試験方法
(左から全面加圧、四点半球加圧)図-2 円柱供試体加圧試験方法
(左から全面加圧、一点面加圧、一点半球加圧)

2. 加力方法が破壊荷重に及ぼす影響に関する実験

2.1 実験概要

(1) 使用材料、調合および打ち込み

表-1 に示す調合表に基づき、W/C=60%、40%、20%、16%、13%のコンクリートを練り混ぜた。水セメント比40%以上では、M社製普通ポルトランドセメント、大井川水系川砂(表乾密度 2.63g/cm³)、大井川水系川砂利(表乾密度 2.64g/cm³)、水セメント比20%以下では、M社製シリカフェュームプレミックスセメント、飯淵産碎石(表乾密度 2.62g/cm³)、飯淵産砕砂(表乾密度 2.65g/cm³)を使用した。化学混和剤は、表-1 に従いB社製 No. 70・SP-8N・303A、T社製 Ssp-104 を使用した。水は習志野市水道水である。150×150×150mm 立方供試体鋼製型枠およびφ100×200mm 円柱供試体型枠に打設した。

(2) 養生条件

打ち込み後、材齢3日で脱型を行い、その後、60℃の高温室内で封緘養生を行なった。

(3) 圧縮強度試験

JIS A 1108「コンクリートの圧縮試験方法」に基づき、材齢28日に圧縮強度試験を行なった。その際、150×150×150cm 立方供試体には図-1 に示す全面加圧および四点半球加圧を、φ100×200mm 円柱供試体では図-2 に示す全面加圧、一点面加圧、一点半球加圧を行った。

(4) 割裂引張強度試験

JIS A 1113「コンクリートの割裂引張強度試

験方法」に基づき、打ち込みから材齢28日後に割裂引張強度試験を行なった。

2.2 結果および考察

(1) 加圧方法と圧縮荷重の関係

図-3 に 150×150×150cm 立方供試体に対する全面加圧荷重、四点半球加圧荷重、及びφ100×200mm 円柱供試体に対する全面加圧、一点面加圧荷重、一点半球加圧荷重を、図-4 に圧縮強度、割裂引張強度を示す。全面加圧に比し、小さな点で加重すると通常より小さな荷重で破壊できた。

150×150×150mm 立方供試体の場合、四点半球加圧も、水セメント比が低くなる程、破壊荷重は増加したが、破壊荷重の水セメント比依存性は小さかった。

φ100×200mm 円柱供試体の場合、加圧面積が小さい一点半球加圧に作用した破壊荷重が最も低く、水セメント比が13%となっても圧縮破壊荷重は100kN以下であった。

割裂引張強度は、水セメント比が低くなっても増加は小さく、割裂引張強度は10N/mm²以下であった。

(2) 加圧方法と加圧荷重比率の関係

図-5 は 150×150×150mm 立方供試体およびφ100×200mm 円柱供試体の全面加圧荷重を100%とした時の四点半球加圧荷重、一点面加圧荷重、一点半球加圧荷重の割合を示したものである。150×150×150mm 角柱供試体の場合、四点半球加圧は水セメント比の違いによる差はあまり見られず、常に全面加圧荷重の10～

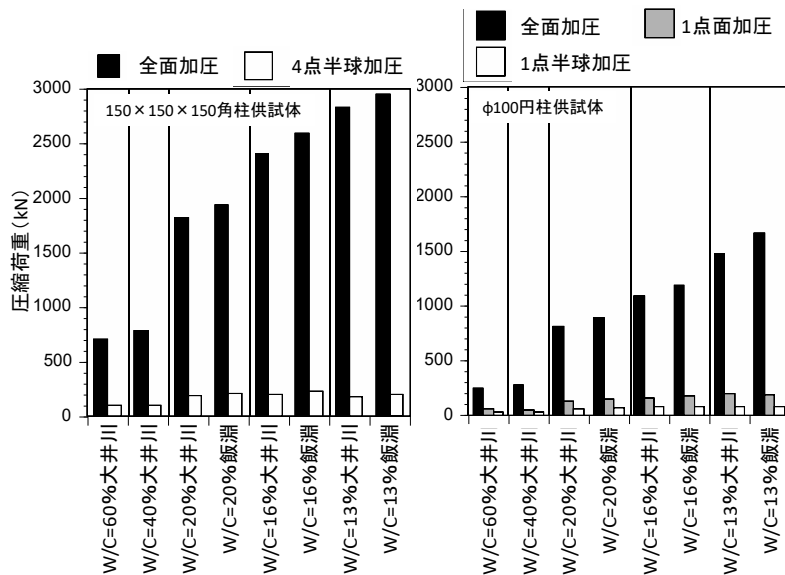


図-3 圧縮破壊荷重

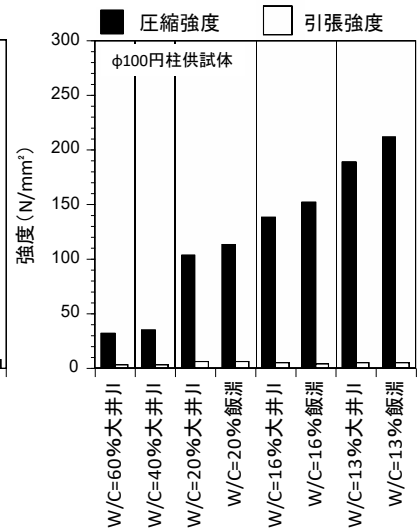


図-4 圧縮強度及び引張強度

15%の荷重で破壊した。
φ100×200mm 円柱供試体の場合、一点半球加圧および一点面加圧は水セメント比が低くなるにつれて、圧縮破壊荷重比率は低下していった。

(3) 水セメント比 60% 試験体に対する比率

図-6 は水セメント比 60%の四点半球加圧、一点面加圧荷重、一点半球加圧荷重それぞれを 100%とした時の比率を示したものである。

150×150×150mm 角柱供試体の場合、4 点半球加圧は、水セメント比 20%以下では水セメント比 60%に比し、圧縮試験結果は 2.5～4.5 倍であるが、2 倍程度の破壊荷重であった。

φ100×200mm 円柱供試体の場合、一点面加圧および一点半球加圧は、水セメント比 20%以下では水セメント比 60%に比し、圧縮試験結果は 3.5～7 倍であるが、2.3～3.7 倍の破壊荷重であった。

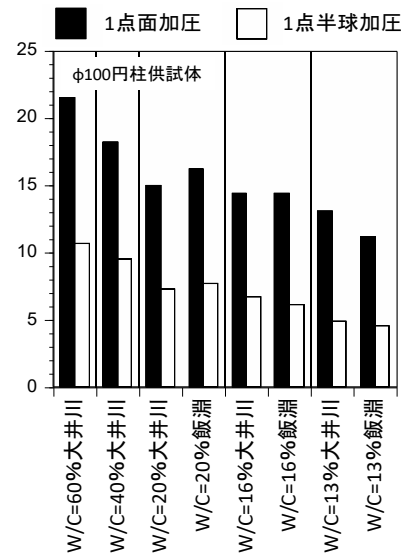
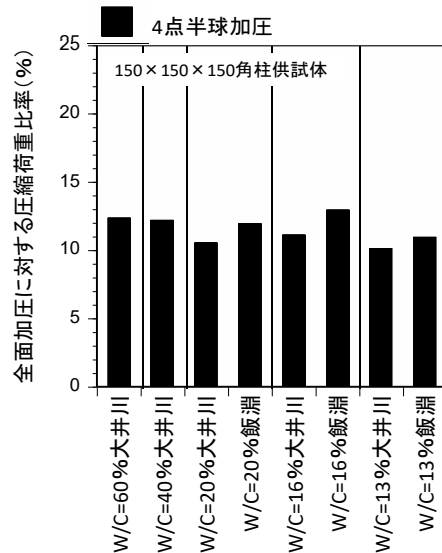


図-5 全面加圧に対する比率

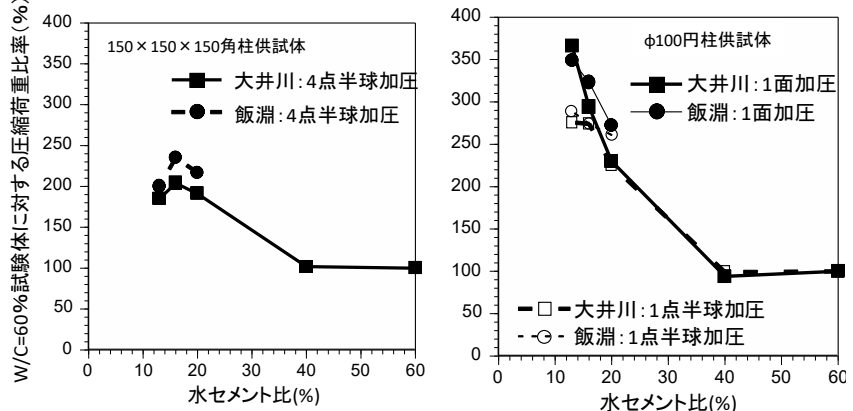


図-6 水セメント比 60%試験体に対する比率

3. 模擬部材による圧碎実験

3.1 試験体の作製

表-2 コンクリートの調合と性状

W/C (%)	単位水量 (kg/m ³)	質量(kg/m ³)					化学混和剤(g/m ³)			スラブフロー (cm)	空気量 (%)	練り温 (°C)	圧縮強度(N/mm ²)		引張強度(N/mm ²)	
		セメント	シリカフューム	シリカフュームプレミックスセメント	細骨材	粗骨材	No.70	SSP104	303A				材齢28日	材齢161日(解体時)	材齢28日	材齢161日(解体時)
60	185	308	-	-	765	1011	770	-	2009	19.7(スラブ)	4.8	20.5	31.5	34.4	2.7	2.9
20	157	659	116	-	630	780	-	11070	833	72.2×71.4	8.1	19.5	126.5	128.9	4.8	4.8
16	164	-	-	969	578	701	-	29063	-	88.0×86.4	7.4	18.5	113.8	140.6	3.7	5.0
13	166	-	-	1192	491	596	-	35769	-	75.8×72.5	5.9	19.0	142.2	177.2	3.8	4.8

z 試験体は、梁部材を模擬したもの（300×300×900mm）とした。型枠として、鋼製型枠を使用し、鉄筋として、主筋（D19）8本、あばら筋（D10）20本を使用した。配筋は、図-7 示す通りとした。

コンクリートの水セメント比は、60%、20%、16%、13%とした。調合を表-2 に示す。使用材料として、水セメント比 20%において、M 社製普通ポルトランドセメントと E 社製シリカフュームを使った以外は、2.1(1) 記載の通りである。

材齢 28 日及び解体実験時（材齢 161 日）における圧縮試験と引張試験の結果を表-2 に併記した。

表-3 は、それぞれのコンクリートにおける W/C=60%を基準とした時の圧縮強度比、同一コンクリートにおける引張強度／圧縮強度(%)、W/C=60%を基準とした時の引張強度比を示す。

水セメント比を小さくさせることによる圧縮強度の伸びに比し、引張強度の伸びは小さく、圧縮強度が 5.1 倍となっても引張強度は 1.6 倍程度でしかなく、超高強度コンクリートの解体では引張荷重をうまく与えることが有利といえる。

3.2 圧砕加圧試験（室内実験）



写真-2 室内圧砕試験状況

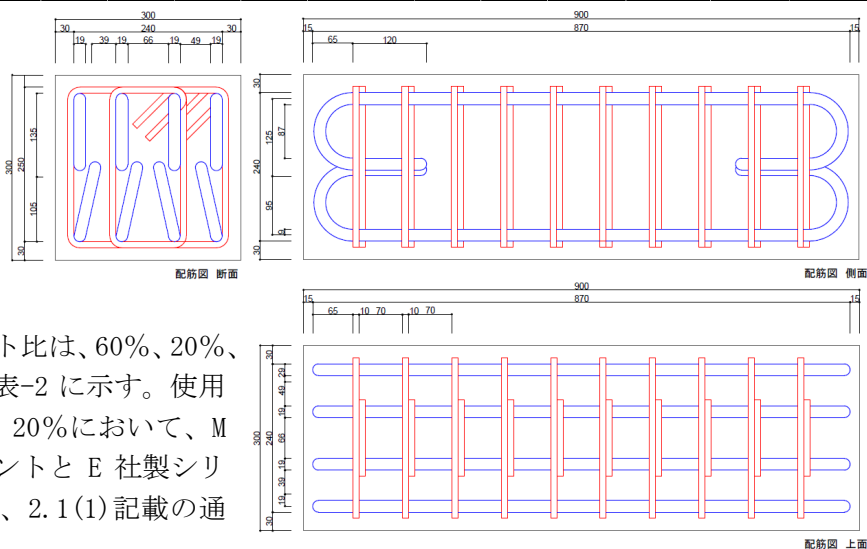


図-7 配筋

表-3 強度比（解体時：材齢 161 日）

W/C (%)	W/C=60%を基準とした時の圧縮強度比	同一コンクリートの引張強度/圧縮強度(%)	W/C=60%を基準とした時の引張強度比
60.0	1.0	8.5	1.0
20.0	3.7	3.8	1.7
16.0	4.1	3.6	1.7
13.0	5.1	2.7	1.6

表-4 圧砕荷重

W/C (%)	最大圧砕荷重 (kN)	W/C60%コンクリートに対する最大圧砕荷重比
60	1706	1.0
20	2395	1.4
16	2280	1.3
13	2452	1.4

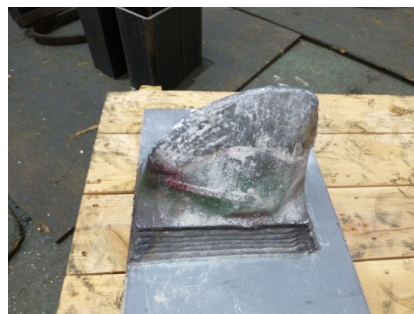


写真-3 圧砕刃



写真-4 アタッチメント



写真-5 試験体とアタッチメント



写真-6 コンクリート片の飛散

表-5 実機による最大圧砕荷重

W/C (%)	最大油圧 (MPa)	最大圧砕刃 先端荷重 (kN)	W/C60% の荷重に対する比
60	30.0	780	1.00
20	30.0	780	1.00
16	29.0	754	0.97
13	29.5	767	0.98



写真-7 W/C13%模擬梁でみられた力不足感(何度もかんだ後の状況)

(1) 実験概要

圧砕加圧試験は、最大荷重は 4000kN の試験機で行った。写真-2 は、この圧縮試験機に試験体を設置した状況を示したものである。S 社製圧砕刃（写真-3）を圧縮試験機の加圧側（写真では上側）に取り付け、下側は固定とし試験体を全面で受ける形とした。圧砕刃を全長 900mm の試験体に対し、端から 300mm の梁側面にあたる部分中央にあてて加圧した。

(2) 実験結果

表-4 は、各試験体における最大圧砕荷重を示したものである。普通強度コンクリートに比し、超高強度コンクリートの最大圧砕荷重は大きいものの、W/C20%～W/C13%の範囲ではさほど変わらず、W/C13%の超高強度コンクリート部材で観察された最大圧砕荷重は、普通コンクリート部材（W/C=60%）における最大圧砕荷重の 1.4 倍程度でしかなかった。

3.3 実機による圧砕実験

(1) 実験概要

写真-1 に示す最大油圧 30MPa の油圧シャベルを用いた。アタッチメント（大割用圧砕機）として、S 社製 SDS250-SRC を用いた（写真-4）。なお、圧砕刃は新品ではなく、使いこなされた通常の状態のものを使った。30MPa 油圧がかかると刃のおおよそ 800kN の荷重がかかる。

試験体として、室内実験で圧砕試験に供した試験体を使用し、室内実験で圧砕加圧した側の反対の端 300mm の位置の中央部分に対して、梁両側面をアタッチメントでかむ形で行った（写真-5）。

(2) 実験結果

普通強度コンクリート（W/C60%）梁試験体では、アタッチメントでかみ荷重をかけると速やかに刃が梁試験体に入っていく、圧砕解体が容易であったが、超高強度コンクリート梁では、写真-6 に示すように、①刃がはねる、②細かなコンクリート片が飛び散る等の過程を経て、同じところだけをかみ直すだけではコンクリートの圧縮強度が高いためか油圧不足による力不足を感じた（写真-7）。この油圧不足感は、水セメント比が低く強度レベルが高いほど顕著であった。

しかしながら、かむ位置を変える、鉄筋位置に刃を当てるなど、圧砕解体過程で通常行うアタッチメントの操作により、コンクリートの亀裂発生を契機に、一挙にコンクリートが鉄筋から抜けでて圧砕解体が可能であった。破壊されたコンクリート片は、鋭利に角張っていた。

表-5 は、本実験による最大油圧、最大圧砕荷重を示している。普通コンクリートも含めて油圧ショベルの能力を最大限使っていたこと

がわかる。

3.4 超高強度コンクリート部材圧砕解体に関する総合的知見

(1) 普通コンクリート試験部材に対する超高強度コンクリート試験部材の破壊倍率

図-8 は、解体時（材齢 161 日）における W/C60%の普通コンクリートに対する超高強度コンクリートの強度（ $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 円柱供試体による圧縮強度、引張強度、模擬梁部材における室内実験最大圧砕荷重、実機による最大圧砕荷重）倍率を示したものである。

W/C13%コンクリートの倍率をみると、圧縮強度については 5.1 倍であったが、引張強度は 1.6 倍となり、圧砕荷重では室内実験で 1.4 倍、実機による実験では変わらないといえる。超高強度コンクリート部材といえども現在の圧砕解体方法が適用できるとともに、超高強度コンクリート部材こそ、圧砕による解体工法は、壊し方のメカニズムとして有利であることが明らかになった。

(2) 圧砕時の騒音と飛散

超高強度コンクリート部材の圧砕解体では、刃がコンクリートに入りにくく、刃がはねる現象がみられ、爆裂音といえる普通コンクリートレベルではない高音域の騒音が発生する。

また、 $\phi 100 \times 200$ 圧縮強度試験同様、圧砕解体でも力をため込んで一挙に破壊するため、破壊された破片は普通コンクリートの破片と比べて鋭利であり、飛散力も大きい。

4. まとめ

高強度・超高強度コンクリート構造物の解体負荷について、加力方法を検討した実験から、

- (1) 全面に圧縮をする場合に比し、点で加重すると、通常より小さな荷重で破壊できる。
- (2) 小さな点として、面で加重する場合に比し、球で加重する方が小さな荷重で破壊できる。
- (3) 一般的なコンクリート (W/C=60%) に対し超高強度域のコンクリート (W/C=20%以下) の圧縮強度が 6~7 倍であっても点加重同士の比率は 2 倍程度であった。
- (4) 超高強度コンクリートは、強度レベルが上がっても引張強度が伸びないことを確認した。

ことがわかった。

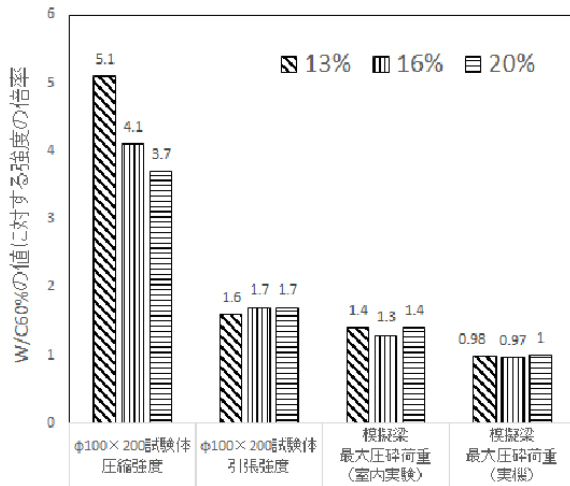


図-8 各試験の W/C=60%コンクリートに対する超高強度コンクリートの強度倍率

また、圧砕実験から

- (5) W/C20%から W/C13%の範囲では、強度レベルが上がっても室内実験における最大圧砕荷重がさほど大きくはならないことを確認した。普通コンクリートに比し、超高強度コンクリートでは、圧砕荷重に対して刃の食い込み量が小さくなることを確認した
- (6) 超高強度コンクリート部材では、圧砕により、高音域の爆裂騒音が発生すること、鋭利なコンクリート片が勢いよく飛散することを確認した。
- (7) W/C13%レベルの超高強度コンクリート部材でも現行の実機による圧砕解体工法・技術により、同じ位置ばかりをかんだのでは圧縮荷重という意味で力が不足するともいえるが、かみ位置を変えるなどの一般的なアタッチメントの操作の範囲で、解体できることを確認した。
- (8) 超高強度コンクリート部材の解体は、圧縮強度に比べ引張強度の比が小さいことから、引張のメカニズムにより行うことが有利であるが、現行の圧砕解体工法はこの点で理に適った方法であることが理解できた。

【参考文献】

- 1) 新時代の「解体工事業」の確立に向けた取り組みと展望：湯浅昇、積算資料 SUPPORT10 月号解体特集 pp. 特集 22・特集 26、2014.10
- 2) 山田久司・角一行・末吉康一：高強度コンクリートを使用した建築物の解体例、日本コンクリート工学協会、コンクリート工学、29(7)、pp. 77-82、1991.7
- 3) 長谷部廣行・鈴木信也・半田雅俊・鹿籠泰幸・和田高靖：100 N/mm² 級超高強度コンクリートを使用した RC 構造物の解体実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp.1275-1278、2007.8
- 4) Lauritzen, E. K., (2019). "Construction, demolition and disaster waste management: an integrated and sustainable approach." Boca Raton, USA: CRC Press.

APPLICATION OF CRUSHING METHOD TO THE DEMOLITION OF HIGH-STRENGTH AND ULTRA-HIGH STRENGTH CONCRETE STRUCTURES

Noboru Yuasa

Department of Building Engineering, College of Industrial Technology, Nihon University, Chiba, Japan, E-mail: yuasa.noboru@nihon-u.ac.jp

Abstract

High-strength concrete buildings with a design strength greater than 60 N/mm² have been constructed since the 1990's, and the ultra-high-strength concrete with that of 200 N/mm² has now been covering the practical range. The demolition technology capable of demolishing such structures built with high-strength and the ultra-high-strength concrete is needed in the near future. This study examines the effects of loading method on the demolition load of high-strength and the ultra-high-strength concrete structure by the laboratory and full-scale crushing experiments using imitated beam specimens. It was found that the current breaking demolition method is advantageous even for the ultra-high-strength concrete members on the basis of the tensile mechanism because the increase ratio of tensile strength is smaller than that of compressive strength. This paper is an extended version of (Yuasa 2015) published in Japanese.

1. Introduction

In June 2014, the Construction Business Act was revised for the first time in 43 years, and the "demolition industry" was established as a type of business in Japan (Yuasa 2014).

Around 1960, Japan entered the period of high economic growth and many buildings were built. However, the number of cases of demolition work for the buildings around that time has increased in recent years due to deterioration and aesthetic obsolescence. Buildings using high-strength concrete with a design strength over 60 N/mm² have been built since the 1990s, but now ultra-high-strength concrete with a design strength of over 200 N/mm² has been put into practical use. It is likely that the demolition of the structures using high-strength and ultra-high-strength concrete is needed (Yamada *et al.* 1991; Suzuki *et al.* 2007).

However, until now, the emphasis has been placed on research on the "construction" of buildings, so there is little research on "demolition", and the demolition technology for high-strength/ultra-high-strength concrete structure has not yet been established (Lauritzen 2019).

The purpose of this research is to study the demolition load aiming at developing demolition technology for the high-strength/ultra-high strength concrete structures. First, the influences of the loading method on the breaking load were clarified by the unreinforced concrete specimens, and then the laboratory and actual crushing experiments were conducted by the imitated beam member.

Table 1 Mix proportion and properties of concrete for the laboratory experiments.

*100% diluted

Water-cement ratio (%)	Aggregate	Unit water (kg/m ³),	Unit mass (kg/m ³)			No.70 (g)	SP-8N (g)	ssp104 (g)	303A* (g)	Slump (cm)	Flow (cm)	Air content (%)	Mixing temp. (°C)	Compressive strength (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)
			Cement	Fine aggregate	Coarse aggregate										
60	OOi	185	308	836	939	771	—	—	1993	18.5	—	4.5	22.0	31.4	2.98
40	OOi	185	463	671	977	—	1852	—	3239	23.0	—	5.1	22.0	34.9	3.12
20	OOi	155	775	647	801	—	—	6200	—	—	58.0 × 56.2	8.0	20.0	103	5.46
	IIBUCHI	155	775	650	798	—	—	6200	—	—	46.6 × 46.0	9.5	22.0	113	5.86
16	OOi	155	969	573	708	—	—	2960	—	—	70.0 × 68.0	7.5	21.0	138	4.90
	IIBUCHI	155	969	575	708	—	—	2960	—	—	69.0 × 67.5	5.8	20.5	151	3.74
13	OOi	155	1192	603	603	—	—	35770	—	—	67.5 × 67.0	5.0	21.0	188	5.12
	IIBUCHI	155	1192	601	601	—	—	35770	—	—	59.0 × 58.0	3.8	21.0	211	4.37

2. Experiments on the effects of loading method on the breaking load

2.1 Outline of the experiment

(1) Materials used, mix proportion and molding

Based on the mix proportions as shown in Table-1, concretes with water-cement ratio (W/C) of 0.6, 0.4, 0.2, 0.16, and 0.13 were prepared. When the W/C was 0.4 or more, the ordinary Portland cement (company M), river sand of the Oi river system (surface dry density 2.63 g/cm³), river gravel of the Oi river system (surface dry density 2.64 g/cm³) were used, while silica fume premix cement (Company M), libuchi crushed stone (surface dry density 2.62 g/cm³), and libuchi crushed sand (surface dry density 2.65 g/cm³) were used when W/C was 0.2 or less. As shown in Table 1, the chemical admixture of No. 70/SP-8N/303A by the company B and Ssp-104 by the company T were used. The mixing water was Narashino City tap water. Concretes were molded both in a 150×150×150 mm cubic specimen steel form and a φ100×200 mm cylindrical specimen form.

(2) Curing conditions

Three days after placing, specimens was removed from the mold, and then sealed and cured in a high temperature chamber at 60°C.

(3) Compressive strength test

A compressive strength test was conducted at the material age of 28-day according to JIS A 1108 "Compression test method for concrete". As shown in **Fig. 1**, the 150×150×150 mm cubic specimen was subjected to flat head loading and four-point hemispherical head loading, while flat head loading, single-point flat loading and hemispherical loading, as shown in **Fig. 2**, were applied for the φ100×200 mm cylindrical specimen.

(4) Split tensile strength test

Splitting tensile strength test was performed at 28-day after placing according to JIS A 1113 "Test method for splitting tensile strength of concrete".

2.2 Results and discussion

(1) Relationship between loading method and compression load

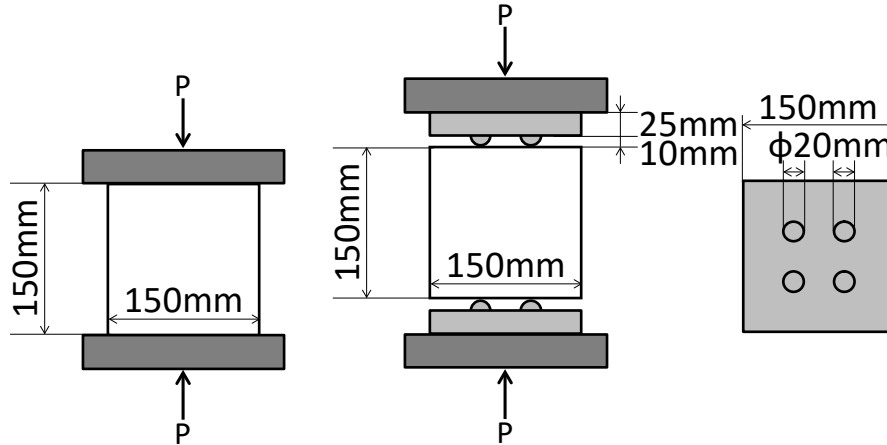


Fig. 1 Loading method for the cubic specimen. (flat head loading and four-point hemispherical head loading)

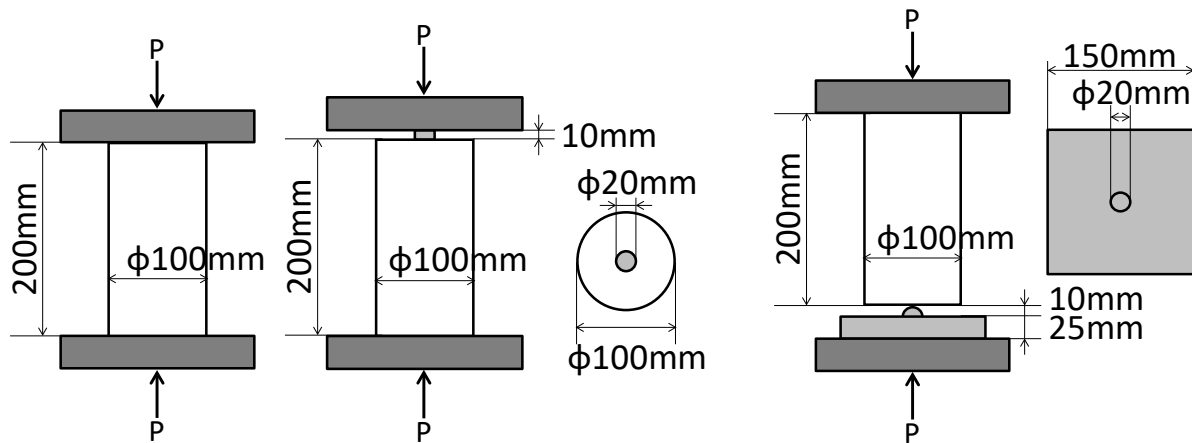


Fig. 2 Loading method for the cylindrical specimen. (flat head loading, single-point flat and single-point hemispherical head loading)

Figure 3 shows compressive load applied to the $150 \times 150 \times 150$ mm cubic specimen using the flat head loading and four-point hemispherical head loading, and that applied to the $\phi 100 \times 200$ mm cylindrical specimen using the flat head loading, single-point flat head loading and one-point hemisphere head loading. **Figure 4** shows compressive strength and split tensile strength. Compared to the flat head loading, single-point loading was able to break specimens with a smaller load.

In the case of the $150 \times 150 \times 150$ mm cubic specimen subjected to the four-point hemispherical head loading, the fracture load increased as the W/C decreased, but the dependency was not significant.

In the case of $\phi 100 \times 200$ mm cylindrical specimen subjected to the single-point hemispherical head loading having a small loading area, the fracture load was the lowest, and the compressive fracture load was 100 kN or less even when the W/C was 0.13.

The splitting tensile strength did not increase much even when the W/C was low, and the splitting tensile strength was 10 N/mm² or less.

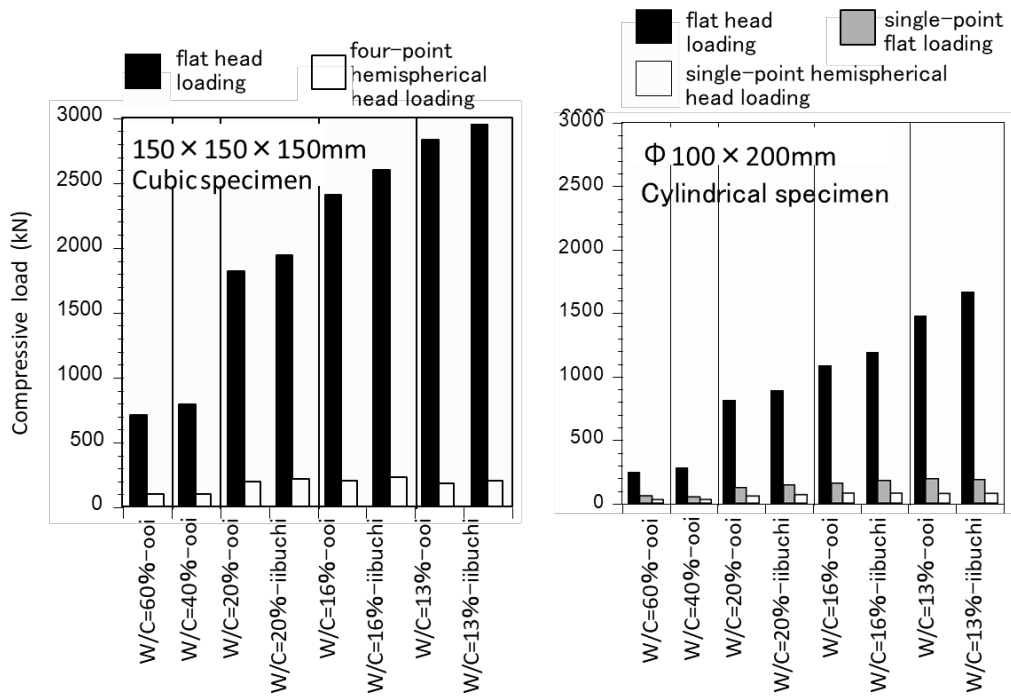


Fig. 3 Compressive fracture load.

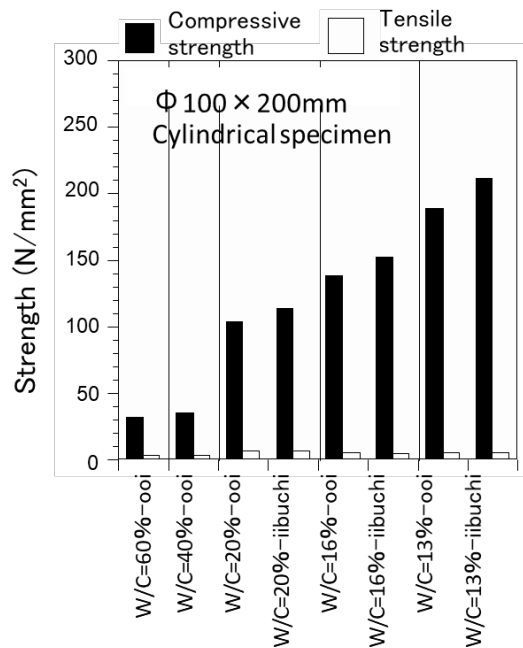


Fig. 4 Compressive strength and tensile strength.

(2) Relationship between loading method and compressive load ratio

Figure 5 shows the compressive load ratio of four-point hemispherical head loading, the single-point flat head loading, and the single-point hemispherical head loading normalized with the flat head loading applied to the 150 × 150 × 150 mm cubic specimen and φ100 × 200 mm cylindrical specimen. In the case of 150 × 150 × 150 mm cubic specimens, the four-point hemispherical head loading did not show much difference by the W/C, and it always broke at a load of 10 to 15% of the flat head loading. In the case of φ100×200mm cylindrical specimens, the compressive fracture load

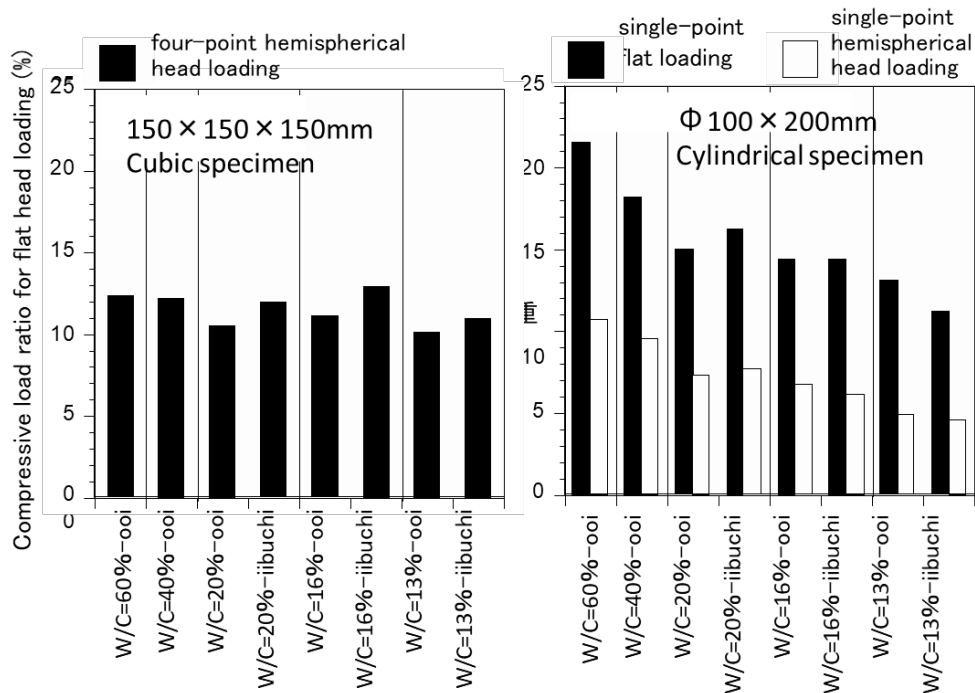


Fig. 5 Compressive load ratio for the flat head loading.

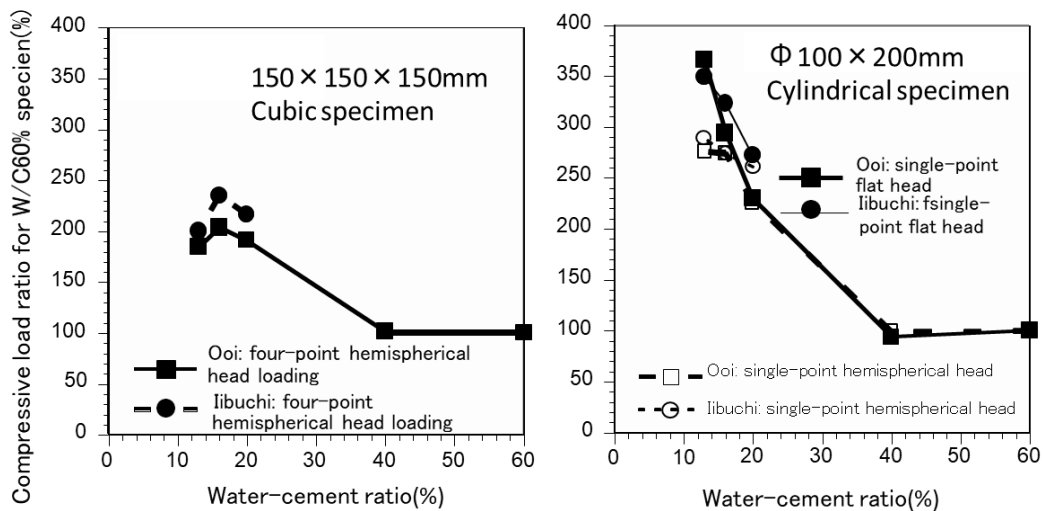


Fig. 6 Relationship between water-cement ratio and compressive load as compared with the control specimen.

ratio decreased as the W/C decreased both in the single-point hemisphere loading and the single-point flat loading.

(3) Normalization by the specimen with a W/C of 0.6

Figure 6 shows normalized compressive load of specimens subjected to the loading with four-point hemispherical head, single-point flat head and single-point hemispherical head with respect to the specimen with a W/C of 0.6.

In the case of 150×150×150 mm cubic specimen with a W/C less than 0.2, compressive strength obtained with a four-point hemisphere head loading was 2.5 to 4.5 times as much as that with W/C

of 0.6, while fracture load was about twice.

In the case of $\phi 100 \times 200$ mm cylindrical specimen with a W/C less than 0.2, compressive strength obtained with the single-point flat head loading and the single-point hemispherical head loading are 3.5~7.0 times as much as with the W/C of 0.6, while fracture load was 2.3 to 3.7 times.

3. Crushing experiment using imitated beam specimens

3.1 Preparation of the specimen

The specimen was an imitated beam member (300×300×900 mm). A steel mold was used and 8 main bars (D19) and 20 stirrup (D10) were used as the reinforcing bars. The bar arrangement is shown in **Fig. 7**.

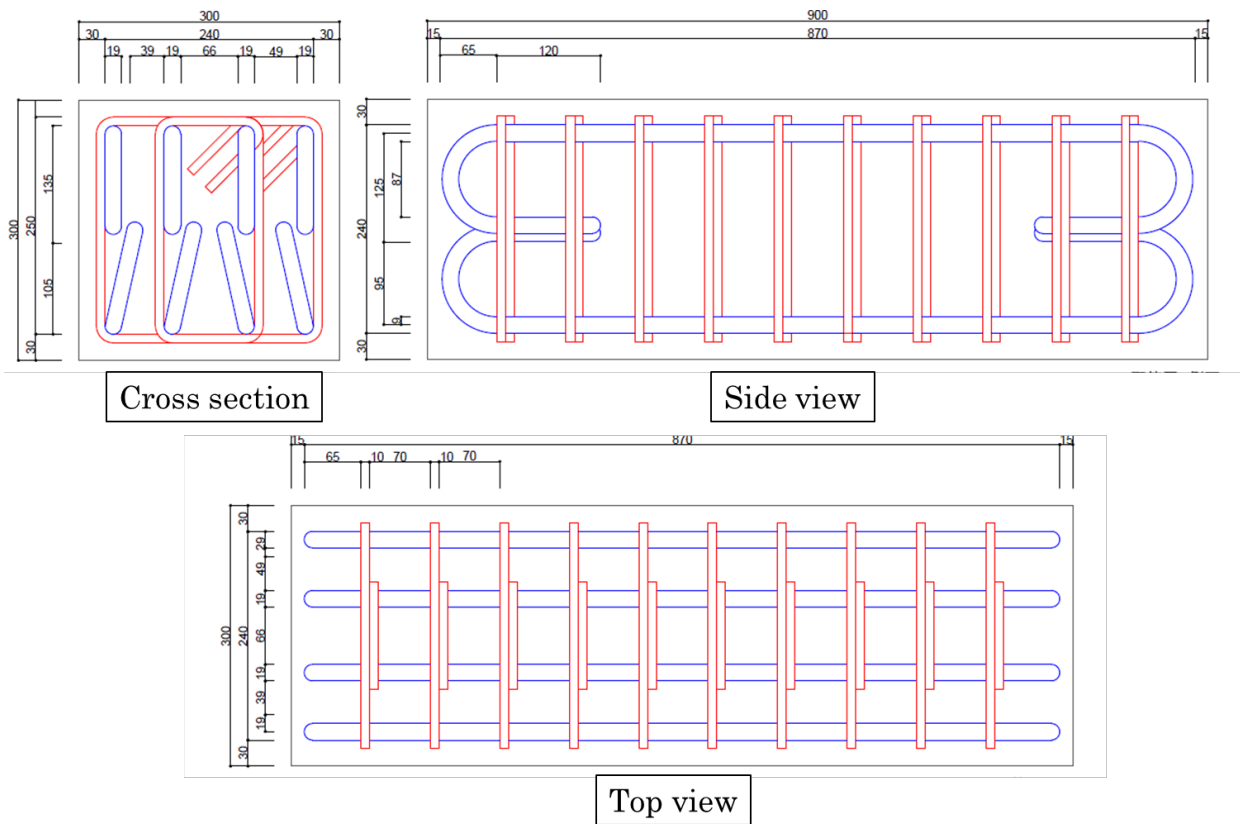


Fig. 7 Reinforcing bar arrangement.

Table 2 Mix proportion and properties of concrete for the imitated beam experiments.

W/C (%)	Unit water (kg/m ³)	Unit mass (kg/m ³)					Chemical admixture (g/m ³)			Slump Flow (cm)	Air content (%)	Mixing temp. (°C)	Compressive strength (N/mm ²)		Tensile strength (N/mm ²)	
		Cement	Silica fume	Silica fume premix cement	Fine aggregate	Coarse aggregate	No.70	SSP104	303A				28-day	161-day (at demolition)	28-day	161-day (at demolition)
60	185	308	-	-	765	1011	770	-	2009	19.7 (Slump)	4.8	20.5	31.5	34.4	2.7	2.9
20	157	659	116	-	630	780	-	11070	833	72.2×71.4	8.1	19.5	126.5	128.9	4.8	4.8
16	164	-	-	969	578	701	-	29063	-	88.0×86.4	7.4	18.5	113.8	140.6	3.7	5.0
13	166	-	-	1192	491	596	-	35769	-	75.8×72.5	5.9	19.0	142.2	177.2	3.8	4.8

Table 3 Relative strength at the age of demolition. (161-day)

W/C (%)	Compressive strength ratio to control (W/C=0.6)	Tensile strength/compressive strength (%)	Tensile strength ratio to control (W/C=0.6)
60.0	1.0	8.5	1.0
20.0	3.7	3.8	1.7
16.0	4.1	3.6	1.7
13.0	5.1	2.7	1.6



Fig. 8 Specimen of the laboratory test.

The W/C of the concrete were 0.6, 0.2, 0.16 and 0.13 and the mix proportions are shown in Table-2. Materials used are described in the section 2.1(1), except for the Portland cement manufactured by company M and silica fume manufactured by company E used for the specimen with a W/C of 0.2.

The results of the compressive and tensile strength tests at the material age of 28-day and at the time of crushing experiment (161-day) are also shown in Table 2.

With respect to the control concrete with a W/C=0.6, the compressive strength ratio of each concrete, tensile strength and the tensile strength/compressive strength (%) of the same concrete, are shown in Table 3.

Compared to the development of compressive strength associated with a decrease in W/C, the development of tensile strength was small. When the development of compressive strength became 5.1 times, the tensile strength developed only about 1.6 times. It is therefore advantageous for the demolition of ultra-high-strength concrete to apply tensile load with ingenuity.

3.2 Crushing loading test (laboratory experiment)

(1) Outline of experiment

The crushing test was performed with a tester having the maximum load of 4000 kN. **Figure 8**

shows the installation of a specimen in the tester. The crushing blade manufactured by company S (**Fig. 9**) was attached to the loading side (upper side in the Figure) of the tester, and the lower side was fixed and supported the entire specimen. The crushing blade was applied to the specimen, with a total length of 900 mm, at the center of a part corresponding to the side surface of the beam 300 mm from the end.

(2) Experimental results

Table 4 shows the maximum crushing load of each specimen. Although the maximum crushing load of ultra-high-strength concrete was larger than that of normal strength concrete, it did not change much in the range of $W/C=0.2$ to 0.13 , and the maximum observed with $W/C=0.13$ ultra-high-strength concrete members. The crushing load was only about 1.4 times of the maximum crushing load of the ordinary concrete members ($W/C=0.6$).

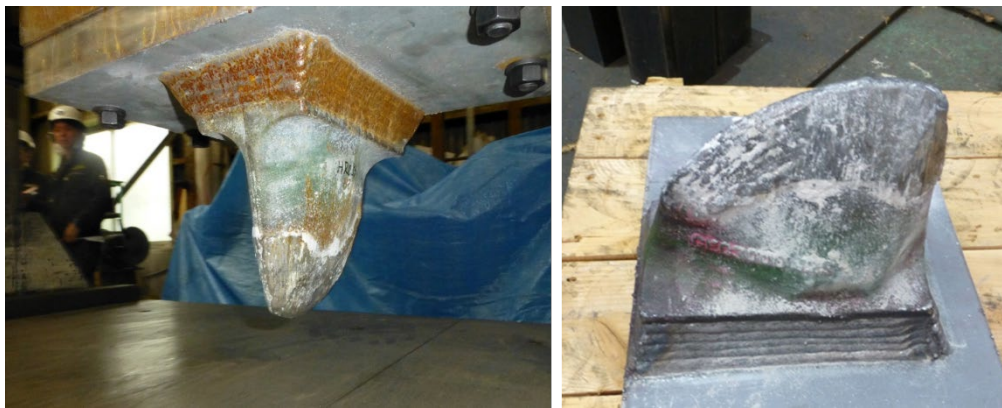


Fig. 9 The crushing blade for loading.

Table 4 Crushing load.

W/C (%)	Compressive strength ratio to control (W/C=0.6)	Tensile strength/compressive strength (%)	Tensile strength ratio to control (W/C=0.6)
60.0	1.0	8.5	1.0
20.0	3.7	3.8	1.7
16.0	4.1	3.6	1.7
13.0	5.1	2.7	1.6

3.3 Crushing experiment with a breaking machine

(1) Outline of experiment

A hydraulic shovel with a maximum hydraulic pressure of 30 MPa was used. A jaw crusher produced by company S (SDS250-SRC) was used as an attachment (**Fig. 10**), where the blade was not a new one, but has been used in the normal conditions. When a hydraulic pressure of 30 MPa was applied, the blade was subjected to a load of approximately 800 kN.

The specimens used in the laboratory crushing experiment were reused and subjected to a bite with both sides of the beam with the attachment to the center part at the horizontal position of 300 mm opposite to the side crushed in the laboratory experiment. (**Fig. 11**).



Fig. 10 Hydraulic shovel attachment.



Fig. 11 A specimen held with the attachment

(2) Experimental results

When a crushing load was applied through the attachment, the blade immediately entered the beam specimen of the ordinary strength concrete ($W/C=0.6$), and it was easy to crush and break it. However, in the ultra-high-strength beam specimen as shown **Fig. 12**, firstly because the compressive strength of concrete was so high and secondarily repeated crushing of the same part after the bounce of the blade and scatter of fine concrete pieces were present (**Fig. 13**), it seemed to be in lack of the force due to insufficient hydraulic pressure, which was more remarkable when the W/C was lower and the strength level was higher.

Nevertheless, when operating attachments as normally performed in the crushing and demolition process and changing of the biting position and applying the blade to the position of the reinforcing bar, it was possible for concrete by being pushed out from the reinforcing bar all at once due to the occurrence of cracks in the concrete. The crushed concrete pieces were sharply angled.

Table-5 shows the maximum hydraulic pressure and maximum crushing load in this experiment. It

was obvious that the capacity of the hydraulic shovel was used to the maximum, including in the case of the ordinary concrete.



Fig. 12 Scatter of concrete pieces during crushing



Fig. 13 A beam specimen of W/C=0.13 after repeated crushing loads showing the shortage of the crushing power.

Table 5 Maximum crushing load of shovel crusher.

W/C (%)	Maximum hydraulic pressure (MPa)	Maximum load at the head (kN)	Maximum load ratio to control (W/C=0.6)
60	30.0	780	1.00
20	30.0	780	1.00
16	29.0	754	0.97
13	29.5	767	0.98

3.4 Overall look at the crushing demolition of ultra-high-strength concrete members

(1) Breaking load ratio of ultra-high-strength concrete specimen (member) to the ordinary concrete specimen (member)

Figure 14 shows the strength and maximum load ratios of ultra-high-strength concrete against those of the ordinary concrete with a W/C=0.6 at the time of demolition (age of 161-day). It includes compressive strength and tensile strength with a cylindrical specimen of $\phi 100 \times 200$ mm and maximum crushing loads of imitated beam members both in laboratory and the actual machine tests.

Looking at the strength ratio of W/C=0.13 concrete, the compressive strength was 5.1 times, but the tensile strength was 1.6 times, and the crushing load in the laboratory experiment was 1.4 times and almost no differences was found in the actual machine experiments. It was found that the current crushing demolition method can be applied to ultra-high-strength concrete members, and that the demolition method by crushing was advantageous as a breaking mechanism for the ultra-high-strength concrete members.

(2) Noise and particle scattering during crushing

In the crushing of the ultra-high-strength concrete members, it is not easy for the blade to enter the concrete, and the blade sometimes bounced with explosion noises of high frequency range unlike the level of the ordinary concrete.

Similar to the compressive strength test of the $\phi 100 \times 200$ mm specimen, crushing during demolition accumulated force and broke members at once, so the broken pieces were sharper and had a greater scattering force than that of the ordinary concrete pieces.

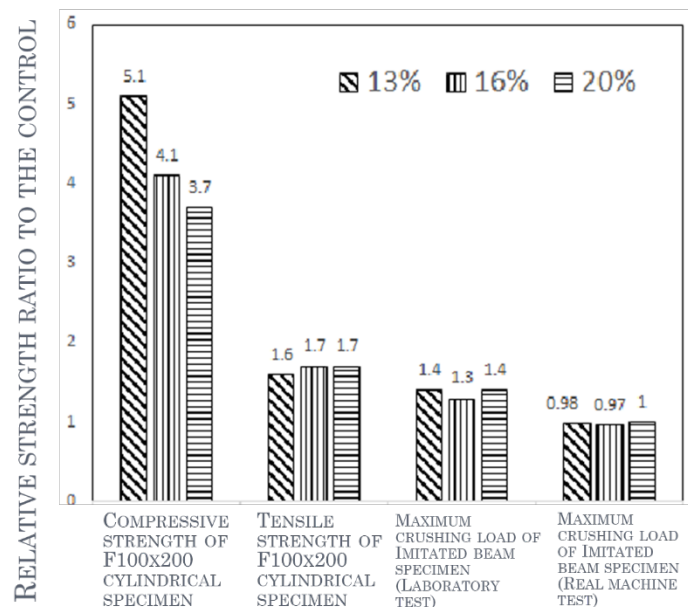


Fig. 14 Strengths of ultra-high-strength concrete normalized with the control with a W/C=0.6.

4. Conclusions

From the experiment that examined the loading method for the demolition load of high-strength and ultra-high-strength concrete structures, the followings are obtained.

- (1) Compared to the flat head compression loading, the single-point concentrated loading was able to break specimens at a smaller load.
- (2) When the shape of the single-point head was hemispherical, the fracture load was smaller than loading with a single-point flat head.
- (3) The compressive strength of ultra-high-strength concrete ($W/C=0.2$ or less) was 6 to 7 times that of the ordinary concrete ($W/C=0.6$), while the ratio of fracture loads when using point loading was about twice.
- (4) It was confirmed that the tensile strength of ultra-high-strength concrete did not increase unlike the increase in compressive strength level.

From the crushing experiment,

- (5) In the range of water to cement ration of 0.2 to 0.13, it was confirmed that the maximum breaking load in the laboratory experiment did not become so large even if the strength level increased and that the biting amount of the blade at the breaking load was smaller in ultra-high-strength concrete than in ordinary concrete.
- (6) It was confirmed that breaking of ultra-high-strength concrete members caused explosion noise of high frequency range associated with vigorous scattering of sharp concrete fragments.
- (7) The ultra-high-strength concrete members with a water to cement ratio of 0.13 level can be demolished using the current actual equipment and the breaking demolition method when the bite position could be changed within the working range of the currently available attachments, while the force may be insufficient in terms of compression load if the same position may always be bitten.
- (8) Demolition of ultra-high-strength concrete members on the basis of the tensile mechanism is advantageous because the increase ratio of tensile strength is smaller than that of compressive strength, and the use of current breaking demolition method makes sense in this respect.

References

- Yuasa, N., (2015). "Study on demolition load of reinforced concrete structure using high strength and ultra-high strength concrete." In: The 12th Japan • Korea Joint Symposium on Building Materials & Construction, 105-110. (in Japanese)
- Yuasa, N., (2014). "Prospects for establishing the demolition industry of the new era." *Construction Cost Estimation Support*, 10, 22-26. (in Japanese)
- Yamada, H., Sumi, K. and Sueyoshi, K., (1991). "Demolition of buildings with a high-strength concrete." *Concrete Journal*, 29(7), 77-82. (in Japanese)
- Suzuki, S., Hasebe, H., Handa, M., Shikamori, Y. and Wada, T., (2007). "Demolition experiment of ultra-high strength concrete with a strength of 100 N/mm² class." Preprint of the Annual Meeting of AIJ, Materials and Construction Session, A-1, 1275-1278 (in Japanese)
- Lauritzen, E. K., (2019). *Construction, demolition and disaster waste management: an integrated and sustainable approach.* Boca Raton, USA: CRC Press.

再生骨材製造で発生する コンクリート微粉末の有効利用

湯 浅 昇^{※)}

1. はじめに

解体によって生じたコンクリート塊から再生骨材を製造する際、再生骨材10トンあたり1トン程度の微粉(図1)が発生する。将来、一般コンクリート構造物へ本格的に再生骨材が適用される時代が到来し、更に高性能再生骨材が要求される傾向が強まると、この微粉の処理・処分が深刻な問題となるのは必須であろう¹⁾。骨材製造時の破碎によって生じ、エアセパレータで集められる微粉は、コンクリート塊の最も弱い部分であるセメントペーストを多く含んでいると予想される。これまでも粉碎によりあらわれる未水和セメントの新たな水和を期待し、セメントの内割及び外割で、コンクリート粉体を混入した研究^{2)、3)、4)}が多くみられる。しかしながら、その結果をみると、どれも微粉が強度発現に寄与しているとは言い難く、微粉の水和性は低いとの評価が定着し

つつあり、最近では、分離低減材としての利用法を模索する研究^{5)、6)、7)、8)}がみられようになった。

本稿では、①微粉を加熱処理した時、更に、②微粉を再粉碎処理した時のワーカビリティおよび再水和性について、モルタルを作製し、フロー、曲げ強度、圧縮強度、長さ変化について実験・検討した結果、また、③微粉を混入したコンクリートを作製し、そのスランプ、圧縮強度を実験・検討した結果について紹介する。

なお、本稿は、大学教員の会である第27回セメント・コンクリート研究討論会で発表した研究をもとにしている。

2. 微粉の性質

使用した微粉は、一般の構造物の解体によって生じたコンクリート塊から再生骨材を製造し、リサイクルコンクリートを製造している実機プラントから、異なる日時に

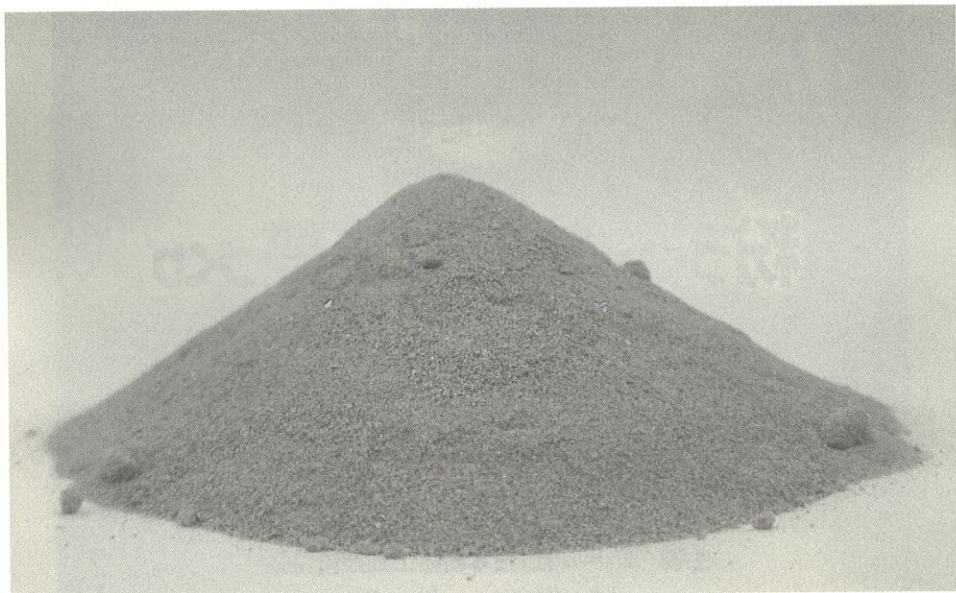


図1 副産微粉末

※) 日本大学 生産工学部建築工学科

表1 微粉、セメントの化学成分および性質

粉体の種類	微粉A	微粉B	セメント
ig. loss ^{*1}	29.22	25.78	1.5
insol.	29.12	33.44	—
SiO ₂	9.37	9.75	22.2
Al ₂ O ₃	2.81	2.76	5.3
Fe ₂ O ₃	1.12	1.32	2.5
CaO	25.60	24.33	64.2
MgO	1.55	0.72	1.5
SO ₃	0.91	1.00	2.0
Na ₂ O	0.12	0.14	0.61
K ₂ O	0.11	0.16	
TiO ₂	0.15	0.10	—
MnO	0.07	0.04	—
P ₂ O ₅	0.09	0.07	—
total	100.24	99.61	99.8
Cl ^{*2}	0.054	0.034	0.005
結合水率(%)	27.5	30.4	—
溶解率(%)	69.8	65.4	—
比重	2.17	2.15	3.16
比表面積(cm ² /g)	1330	1380	3260

*1 ig. lossは1000℃で測定

*2 Clはtotalには含まない

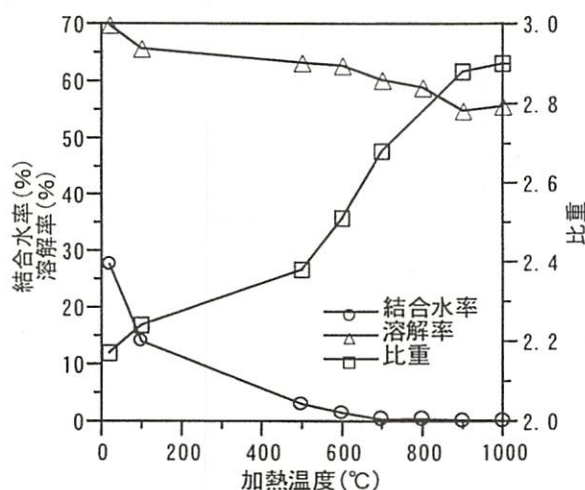


図2 加熱温度と結合水率、溶解率および比重

採取し、半日、天日で乾燥させた微粉A、微粉Bである。表1は、微粉および実験に使用した普通ポルトランドセメントの化学成分を示したものである。微粉A、微粉Bのig. loss, insol. を除いた化学成分は、ほぼ普通ポルトランドセメントの成分と同等であった。なお、粉末X線回折の結果、微粉の構成鉱物には、石英(SiO₂)、カルサイト(CaCO₃)、ポルトランドイト(Ca(OH)₂)がみられ、その他、微粉Aには、輝石、雲母、微粉Bには、長石の含有が認められた。

3. 微粉の加熱処理に関する検討

3.1 微粉の加熱処理

微粉の結合水を加熱によって除去すれば、微粉の活性が増加し、再水和性が向上するものと考えられる。そこで、微粉Aを100、500、600、700、800、900、1000℃まで加熱し、2時間保持した後、炉内で徐冷した。図2は、加熱温度と微粉の結合水率、溶解率、比重の関係を示したものである。加熱温度の上昇に伴って結合水率は低下し、加熱温度が600℃以上であれば、微粉のほとんどの結合水を除去でき、微粉中の溶解率が低下し、比重が増加した。

3.2 加熱微粉を用いたモルタルの品質

(1) 実験の概要

ここでは、微粉の成分のうち、10%の塩酸に2時間溶解させた時の溶解分をセメントとし、不溶残分を骨材として取り扱うこととした。

3.1において加熱処理した微粉Aにおけるセメント分(溶解分)により、M社製普通ポルトランドセメントの5、10、20、30、40%を置換し、JIS R 5201に準じて、表2に示すモルタル(細骨材はJIS A 5201に規定される標準砂)を練り混ぜ、4×4×16cmの試験体を作製した。試験体は、20℃恒温室において材齢2日まで封か養生し、材齢28日まで水中養生(20℃)した。なお、強度試験は、JIS A 5201(セメントの物理試験方法)に準じて行った。

(2) 結果および考察

図3はそれぞれのモルタルのフロー値を示したものである。どの温度で加熱しても微粉の置換率が大きくなるほど、フロー値は低下し、この調査条件では、微粉の置換率はセメント分換算で20%が限界であった。なお、フロー値に及ぼす加熱温度の影響は、小さいようであった。

表2 加熱温度を変化させた微粉を混入したモルタルの調査

加熱温度 (℃)	微粉 置換率 (%)	水セ メント 比 (%)	骨材 セメント 比	セメントを100とした質量比					
				セメント	水	微粉A			細骨材
						セメント 分	骨材 分	水分	
非加熱	0	50	2	100	50.0	—	—	—	200
	5			100	51.6	5.17	2.78	1.25	208
	10			100	53.1	10.9	5.86	2.64	216
	20			100	57.1	24.5	13.2	5.93	237
	30			100	62.1	42.0	22.6	10.2	263
100、500、 600、700、 800、900、 1000	5	50	2	100	52.6	5.28	2.77	—	208
	10			100	55.5	11.1	5.84	—	216
	20			100	62.5	25.1	13.1	—	237
	30			100	71.3	42.9	22.5	—	263
	40			100	83.3	66.9	35.1	—	298

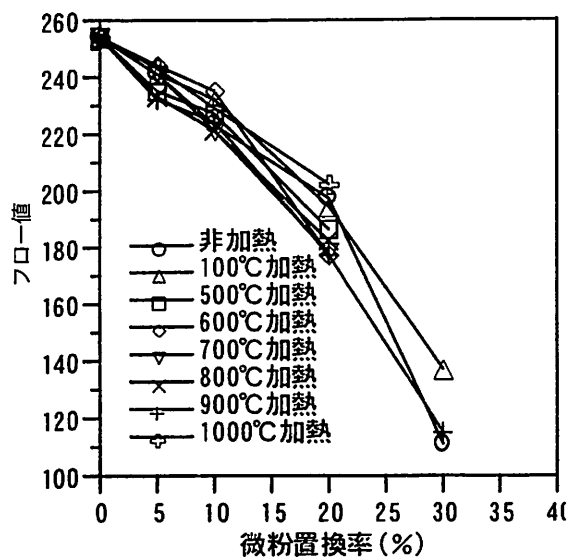


図3 微粉置換率とフロー値

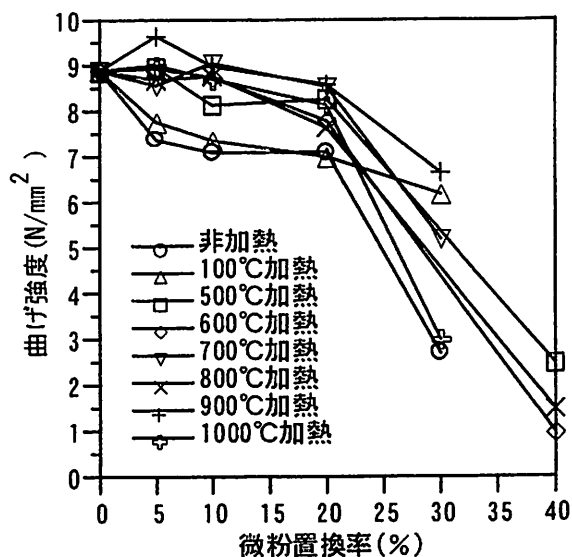


図4 微粉置換率と曲げ強度

図4、図5は、それぞれ曲げ強度、圧縮強度を示したものである。非加熱及び加熱温度100、500℃の微粉を用いると、置換率の増加に伴う強度の低下が大きいが、結合水の大半が除去できる600℃以上で加熱すると、置換率20%までは、強度低下が比較的小さかった。しかし、900、1000℃に加熱した微粉では、他の温度で熱処理した微粉

に比し、強度が若干小さかった。Free Lime 生成による影響が伺われる。

以上の結果と、処理に要する消費エネルギー抑制の観点から、微粉をセメント代替材として有効に利用するためには、600℃で熱処理し、置換率10% (微粉のセメント分換算) 以下で使用することが望ましいことがわかった。

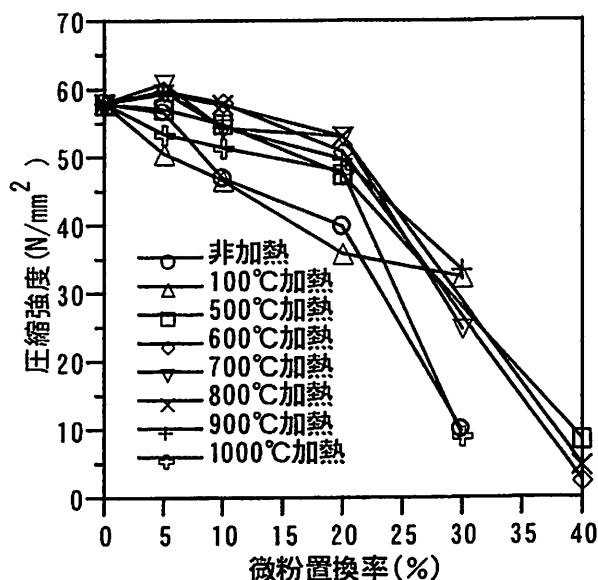


図5 微粉置換率と圧縮強度

表3 粉砕時間を変化させた微粉を混入したモルタルの調査

微粉置換率 (%)	水セメント比 (%)	骨材セメント比	セメントを100とした質量比				
			セメント	水	微粉B		細骨材
					セメント分	骨材分	
0	50	3	100	50.0	—	—	300
5			100	52.6	5.20	4.14	311
10			100	55.6	11.1	8.44	325

4. 微粉の再粉砕処理に関する検討

4. 1 再粉砕処理

加熱微粉を粉砕すれば、微粉の活性は更に増加し、再水和性が向上するものと思われる。また、微粉の形状は丸みを帯び、流動性の向上も期待できる。そこで、600℃で加熱後の微粉Bを試験用ルーレットミルで、1、3、10分間粉砕した。

4. 2 再粉砕処理した微粉を用いたモルタルの品質

(1) 実験の概要

4. 1 において粉砕処理した微粉B (600℃加熱後における溶解率は55.7%)、M社製普通ポルトランドセメント、JIS A 5201に規定される標準砂を用いて、表3に

基づき、モルタルをJIS R 5201に準じて4×4×16cmの試験体を作製した。試験体は、20℃恒温室において材齢1日まで封かん養生し、その後、材齢7、28日まで水中養生 (20℃) した。

(2) 結果および考察

図6は、微粉置換率とフロー値の関係を示したものである。粉砕時間の増加に伴い、フロー値の低下が小さくなることがわかった。微粉の再粉砕は、モルタルの流動性を高めることが確認できた。

図7、図8は、それぞれ曲げ強度、圧縮強度を示している。粉砕により、強度は改善され、むしろ置換率の増加とともに高くなる傾向となった。これは、再粉砕により、微粉がセメントよりも微細化 (3分間で比表面積10,450 cm²) されたこと、セメント分とともに微細された微粉中の骨材分によるフィラー効果によるものと思われる。

また、強度発現の推移をみると、粉砕を全く行わない場合は、行う場合に比し、材齢28日強度に対する材齢7日強度の比率が小さいことがわかる。

以上の結果、本実験条件では微粉をセメント代替材として有効に利用するには、処理に要する消費エネルギー抑制の観点も考慮すると、微粉を600℃で熱処理した後、更に3分間粉砕処理 (比表面積10,450 cm²) を行い、置換率10% (微粉のセメント分換算) 程度で使用することが望ましいことがわかった。

5. 加熱粉砕した微粉を用いたコンクリートの品質

5. 1 実験概要

ここでは、微粉を600℃で熱処理した後、比表面積10,450 cm²まで粉砕し、これをセメントの代替材として、10%置換 (微粉のセメント分換算) したコンクリートにおける微粉の再水和性について検討する。

実験では、表4に示すように、①微粉を含まないスランプ18cm、空気量4.5%の普通コンクリート (M社製普通

(28)

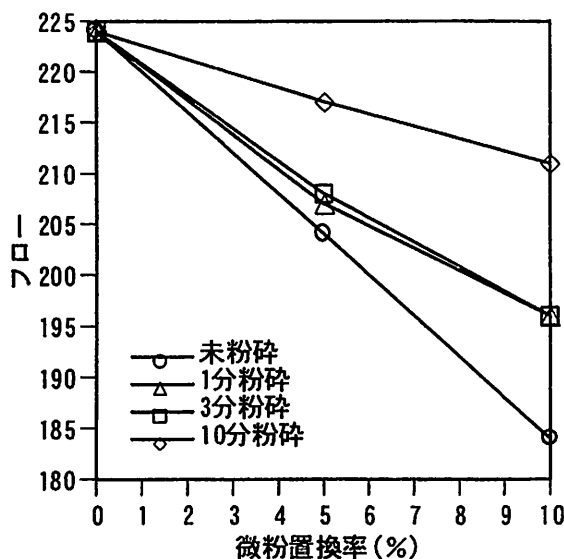


図6 微粉置換率とフロー

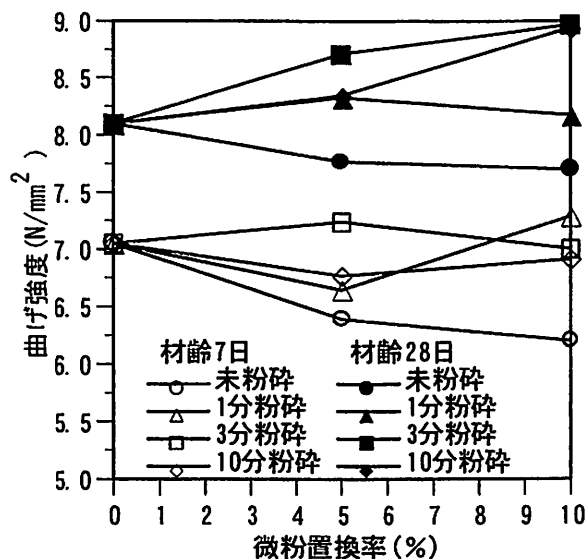


図7 微粉置換率と曲げ強度

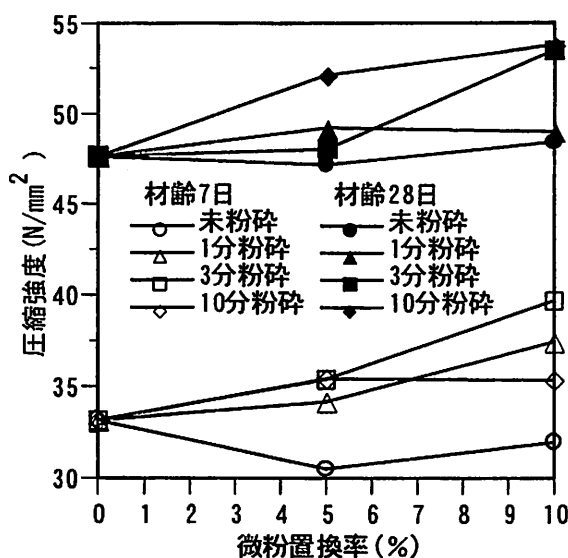


図8 微粉置換率と圧縮強度

ポルトランドセメント (比重3.16)、大井川水系川砂 (表乾比重2.62、粗粒率2.83)、大井川水系川砂利 (表乾比重2.66、粗粒率6.96) 及び化学混和剤 (リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体を主成分としたAE減水剤、アリキアルシルスルホン化合物系陰イオン活性剤を主成分とした空気調整剤) を使用) の割合に基づき、

セメントの10%を、600℃で熱処理し3分間粉碎した微粉B (比表面積10,450cm²) 中のセメント分により代替した。②のコンクリートは、①のコンクリートと同一割合の微粉入りのもの、③のコンクリートは、①と同等のスランブ、空気量となるように化学混和剤を用いて調整したもの、④のコンクリートは、①と同等のスランブ、空気量となるように単位水量と空気調整剤で調整したものである。

また、⑤のコンクリートは、微粉を40℃で恒量となるまで乾燥 (溶解率62.6%) し、これを①と同等のスランブ、空気量となるように化学混和剤で調整したもの、⑥のコンクリートは、③のコンクリートにおいて、加熱粉碎微粉の代わりに標準砂を混入し、①と同等のスランブ、空気量となるように化学混和剤で調整したものである。

φ10×20cmの圧縮試験用供試体は、20℃恒温室にて、材齢1、7、28、91日まで封かん養生し、JIS A 1108に準じて圧縮強度試験に供した。

5. 2 ワーカビリチー及び化学混和剤の使用量

①のコンクリートに比し、②のコンクリートのスランブは4.5cm小さくなり、空気量は2.7%減少した。加熱粉碎微粉のセメント代替使用は、ワーカビリチーを低下させ、空気の混入量を減少させる。

③のコンクリートの化学混和剤使用量をみると、同じ

表4 微粉を混入したコンクリートの調合

*1 調 合 種	水セ メント 比 (%)	細骨 材率 (%)	単位 水量 (kg /m³)	質量(kg/m³)					混和剤(g/m³)				空気 量 (%)	スラン プ (cm)	練り 温 (℃)
				セメント	微粉B		細骨 材	粗骨 材	*2 AE減 水剤	(g/ セメント kg)	*3 No. 303A	(g/ セメント kg)			
					セメント 分	骨材 分									
①	60	48.5	165	275	—	—	893	956	688	(2.50)	1145	(4.16)	4.8	18.1	19.0
②			165	247.5	27.5	20	873	956	688	(2.50)	1145	(4.16)	2.1	13.6	19.0
③			165	247.5	27.5	20	873	956	1727	(6.28)	2289	(8.32)	4.4	18.3	19.0
④			171	256.5	28.5	21.5	860	943	713	(2.50)	2803	(9.80)	4.2	18.5	19.0
⑤		46.0	165	247.5	27.5	16.5	831	1002	2750	(10.0)	67	(0.244)	4.4	18.0	23.0
⑥			165	247.5	48		827	1002	688	(2.50)	820	(2.98)	4.3	18.0	23.0

*1 ①普通コンクリート(水セメント比60%、単位水量165kg/m³、スランプ18cm、空気量4.5%)

②加熱粉砕微粉置換コンクリート(①と同一調合)

③加熱粉砕微粉置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

④加熱粉砕微粉置換コンクリート(②の単位水量、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

⑤乾燥微粉置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

⑥標準砂置換コンクリート(②のAE減水剤、空気調整剤の添加量を調整、スランプ18cm、空気量4.5%)

*2 調合種①～④、⑥はN社製AE減水剤No.70(リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体)を使用
調合種⑤(乾燥微粉置換コンクリート)はN社製高性能AE減水剤SP-8N(ポリカルボン酸エーテル系複合体)を使用

*3 No. 303A: N社製空気調整(増量)剤(アルキルアリルスルホン酸化合物系陰イオン界面活性剤)1%溶液

調合で、同等のスランプ、空気量を確保するには、AE減水剤を2.5倍、空気調整剤を2倍用いる必要があった。李・坂井・大門・長瀧らの研究^{4)、8)}によれば、再生微粉末は、未水和セメントに比し、減水剤の吸着量が大きいたことが知られている。微粉の形状に加え、結果に及ぼす重要な要因となったと思われる。

また、④のコンクリートでは①に対し、単位水量を6kg/m³高め、空気調整剤をセメント比換算で2.35倍用いなければならなかった。

しかしながら、これらの結果をみると、加熱粉砕微粉のセメント分をセメントに10%置換して使用し、同等のスランプ、空気量を確保するためにあらたに必要な化学混和剤量あるいは単位水量は、現実的な範囲であり許容できるものと考えられる。

5. 3 加熱粉砕微粉の再水和性

図9は、①、③、④、⑤、⑥のコンクリートの若材齢における強度発現状況を示している。⑥のコンクリートの強度変化を、加熱粉砕微粉が再水和性を全く持たない場合に予想される強度変化と考え、②、③のコンクリートの強度ははるかに大きく、①の未水和セメント100%の基準コンクリートに対しても若干大きい結果を示している。加熱粉砕微粉のセメント分は強度発現に寄与し、未水和セメントとほぼ同等の水和性をもっている

ことがわかる。これらの結果に対し、微粉を40℃で恒量となるまで乾燥(溶解率62.6%)し、セメントに10%置換した④のコンクリートの強度は、⑥のコンクリートよりも大きいものの、①のコンクリートの強度には及ばなかった。

図10は、①、②、③、④の材齢3ヶ月までの強度変化を示している。①、③、④のコンクリートの強度発現はほぼ等しいことがわかる。なお、②のコンクリート強度がこれら3者のコンクリートよりも上回るのは、小さい値を示した空気量の影響と考えられる。

6. まとめ

再生骨材製造過程で発生する微粉の有効利用を検討した結果は、下記の通りである。

(1) 微粉を600℃で加熱し、更に3分間ルーレットミルで粉砕(比表面積10,450cm²)したものは、セメントの代替材として有効に利用できる可能性がある。

(2) 有効な微粉の利用を考えると、処理微粉のセメント代替率(微粉のセメント分換算)は10%程度までが望ましい。

(3) (1)の処理微粉を(2)で示した範囲で代替し、モルタル、コンクリートに混入した場合、ワーカビリティの低下、空気量の減少がみられる。ただし、これらは、現

(30)

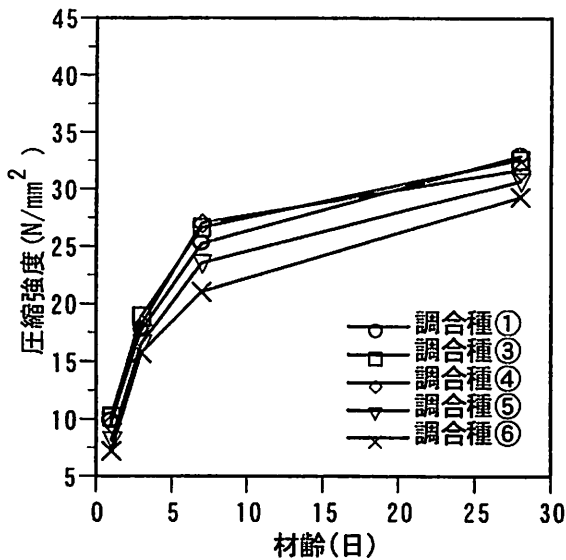


図9 材齢と圧縮強度

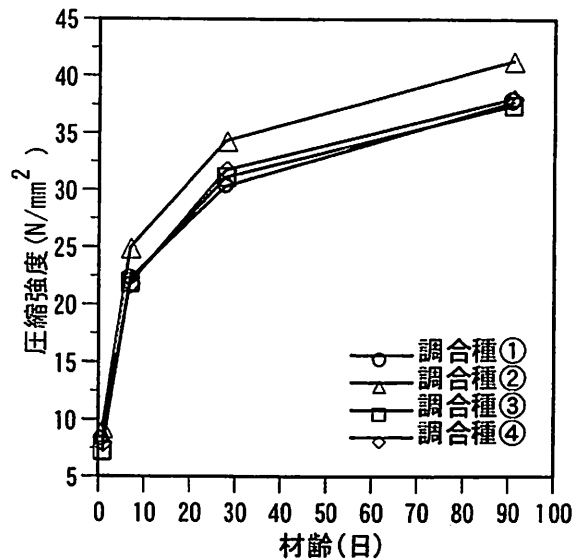


図10 材齢と圧縮強度

実的な範囲における混和剤の増量もしくは単位水量の増量で対応可能である。

(4) (1) の処理微粉を (2) で示した範囲で代替し、モルタル、コンクリートに混入した結果、微粉のセメント分がセメントと同等に強度発現に寄与していることが確認された。

7. おわりに

ここでは、再生骨材製造過程で発生するコンクリート微粉末の有効利用として、セメントの一部代替使用の可能性について紹介した。

研究室では、微粉を用いたコンクリートについて、耐久性も損ねないことを確認している。技術として、600℃程度加熱すると、微粉末のセメント分換算で、10%程度セメントの代替として使用できると考えられる。

しかしながら、微粉末の加熱・輸送コストに関連して、どこで加熱させるか、どこで混合させるか、どこで練り混ぜるかが重要なポイントである。また、どこで使うことがどのような意味で有効か、どこで使ってもらえるかを煮詰める必要がある。また、構造体としての使用を図る一方、2次製品での利用にも期待ができる。

こういったものの普及には、一筋縄ではいかないことを承知しているが、私は、むしろ再生骨材より普及の余

地があるように思う。

是非、この技術も資源循環型建設産業のあり方の中で、議論に加えていただきたい。

参考文献

- 1) 笠井芳夫：建設副産物の再利用の障壁とコンクリート塊の再利用の現状、骨材資源通巻、No. 118、pp. 77-86、1998
- 2) 毛見虎雄・中田善久・荒井光興・古川猛：コンクリート微粉末のリサイクル化に関する研究、第48回セメント技術大会講演集、pp. 544-549、1994
- 3) 毛見虎雄・中田善久・西山直洋・平石信也・古川猛：再生粉体を混入したコンクリートの性状、第49回セメント技術大会講演集、pp. 406-411、1995
- 4) 李琮揆・坂井悦郎・大門正機・長瀬重義：再生微粉末の水和と吸着特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 21 No. 1、pp. 193-198、1999
- 5) 毛見虎雄・宮池隆・中田善久・高野肇：再生粉体を用いた高流動コンクリートの性状、第50回セメント技術大会講演集、pp. 340-341、1996
- 6) 毛見虎雄・宮池隆・中田善久・西山直洋：再生粉体を用いた高流動コンクリートの実大施工実験、第50回セメント技術大会講演集、pp. 342-343、1996

EFFECTIVE USE OF CONCRETE POWDER BY-PRODUCED FROM RECYCLED AGGREGATE

Noboru YUASA

Department of Architecture and Architectural Engineering
College of Industrial Technology, Nihon University
1-2-1 Izumi-cho, Narashino-shi, Chiba-ken 275-8575, JAPAN

ABSTRACT

This study was carried out for the purpose of effective utilization of concrete powder which arises in a process of production of recycled aggregate. It was found that the cement part in the concrete powder which was heated at 600°C and smashed by a roulette mill contributed to the strength development of mortars when substituted for cement at approximately 10 percent

Keywords: concrete, by-produced concrete powder, recycled aggregate, inorganic admixture

INTRODUCTION

When recycled aggregate is produced from demolished concrete rubble, about one ton of concrete powder arises from ten tons of recycled aggregate. In the future, recycled aggregates will be used in the general concrete structures and especially high-quality aggregates will be required. Thus, the processing and dispensing of this fine powder will become a serious problem [1]. Concrete powder (hereafter referred to as powder) collected by air separator contains considerable amounts of cement paste which may have been the weakest part in the original concrete. Thus several experiments have substituted the cement with powder anticipating the hydration of the unhydrated cement in the powder[2], [3], [4]. However, powder did not show any evidence of hydration and more recently, applications have focused on segregation resistant admixtures [5], [6], [7], [8].

In this preliminary experiment, a heat-treated powder showed some strength development. The mortar specimen in this study was prepared by substituting cement with the heat-treated powder, and with heat-treated and smashed powder (in this paper named smashed powder). These mortar specimens were tested in terms of flow, flexural strength and compressive strength.

CHARACTER OF POWDER

The powders A and B collected from a recycled aggregate plant at different dates were dried for a half day under sunlight. **Table 1** shows the chemical composition of powders A and B and ordinary Portland cement. The compositions of the powders were almost the same, except for the amount of ignition loss and the amount of insolubles. Powder x-ray diffraction analysis showed quartz (SiO_2), calcite (CaCO_3), portlandite (Ca(OH)_2) as common crystallines, while powder A included pyroxene and mica and B included feldspar.

EXAMINATION ON HEAT-TREATMENT OF POWDER

Heat-treatment of powder

If the bound water in the powder can be removed by the heat-treatment, increase in activity of the powder may be expected. The powder A was heated to 100, 500, 600, 700, 800, 900 and 1000 °C and kept for 2 hours, then cooled gradually inside of furnace. **Fig.1** shows relationship between the heating temperature and the bound water ratio, soluble ratio and specific gravity.

Quality of the mortar substituted by heat-treated powder for cement

Outline of experiment

The powder was composed of cement that was dissolved by ten percent of hydrochloric acid for two hours and insoluble part that can be regarded as aggregate.

The heat-treated powder A replacing the ordinary portland

Table 1 Chemical composition of concrete powder and cement

Sort of Powder		Concrete Powder A	Concrete Powder B	Portland Cement
Chemical Composition (%)	ig.loss ^{*1}	29.22	25.78	1.5
	insol.	29.12	33.44	—
	SiO_2	9.37	9.75	22.2
	Al_2O_3	2.81	2.76	5.3
	Fe_2O_3	1.12	1.32	2.5
	CaO	25.60	24.33	64.2
	MgO	1.55	0.72	1.5
	SO_3	0.91	1.00	2.0
	Na_2O	0.12	0.14	0.61
	K_2O	0.11	0.16	
	TiO_2	0.15	0.10	—
	MnO	0.07	0.04	—
	P_2O_5	0.09	0.07	—
	total	100.24	99.61	99.8
Cl ^{*2}		0.054	0.034	0.005
Bonded Water Ratio (%)		27.5	30.4	—
Soluble Ratio (%)		69.8	65.4	—
Specific Gravity		2.17	2.15	3.16
Blain Specific Surface (cm^2/g)		1330	1380	3260

*1 Gauge ig.loss at 1000°C heating

*2 Exclude Cl from total

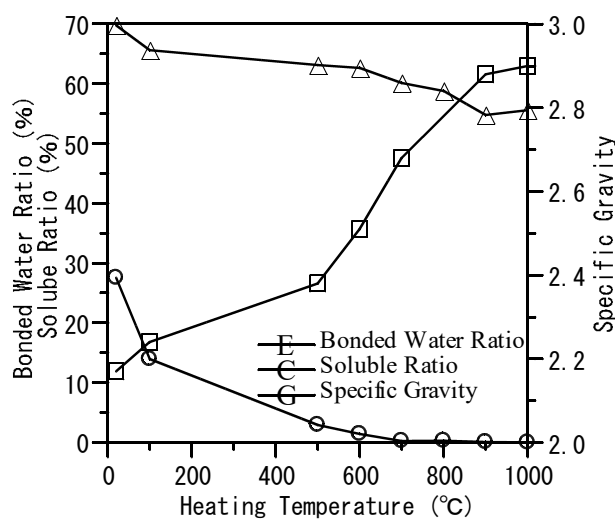


Fig.1 Relationship between the heating temperature and the bonded water ratio, soluble ratio and specific gravity

Table 2 Mix-proportion of mortar using heat-treated concrete powder

Heating Temperature (°C)	Substitute Ratio (%)	W/C (%)	S/C	Weight Ratio (Percentage to Cement (%))					
				Cement	Water	Concrete Powder A			Sand
						Cement Content	Sand Content	Water Content	
Non Heating	0	50	2	100	50.0	—	—	—	200
	5			100	51.6	5.17	2.78	1.25	208
	10			100	53.1	10.9	5.86	2.64	216
	20			100	57.1	24.5	13.2	5.93	237
	30			100	62.1	42.0	22.6	10.2	263
100, 500, 600, 700, 800, 900, 1000	5	50	2	100	52.6	5.28	2.77	—	208
	10			100	55.5	11.1	5.84	—	216
	20			100	62.5	25.1	13.1	—	237
	30			100	71.3	42.9	22.5	—	263
	40			100	83.3	66.9	35.1	—	298

cement for 5, 10, 20, 30 and 40% and the standard sand (JIS A 5201) were used to prepare $4 \times 4 \times 16$ cm mortar specimens. The specimens were sealed and cured in a humidified room at a temperature of 20°C, and thereafter cured in 20°C water until the age of 28-day. The strength test was done according to JIS A 5201 (The physical test method of cement).

Result and Discussion

Fig.2 shows flow value of each mortar. The flow value decreased with an increase in the amount of powder. In this mixture proportion, the maximum amount of powder to substitute cement was 20%, while the effect of heating temperature of the powder on flow value of mortar was small.

Fig.3 and **Fig.4** show the bending strength and compressive strength

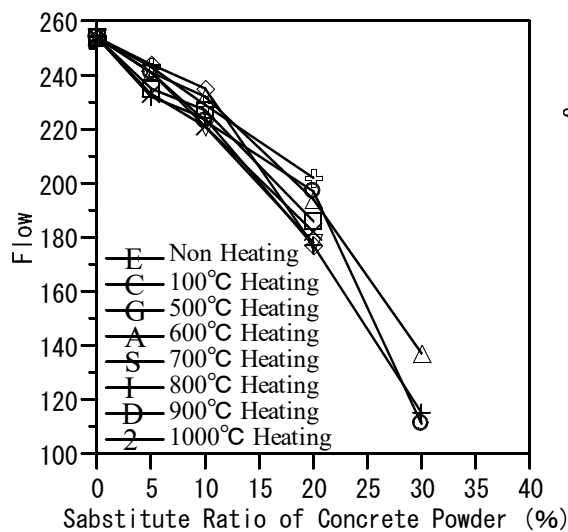


Fig.2 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the flow

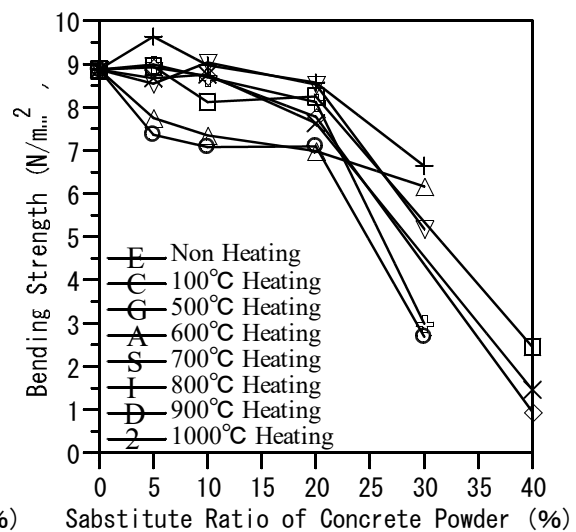


Fig.3 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the bending strength

respectively. The mortar strength decreased with increasing amount of substitution with the powder, and the mortar showed large decrease in strength when the powder was non-heated or heated in 100°C and 500°C. When substituted by the powder with little bound water, the strength decrease was small to a 20 percent replacement. However, the strength of mortar using the heated powder of 900°C and 1000°C were a little smaller than that using the heated powder of 600°C ~ 800°C. This may be attributed to the generation of free-lime by the heating over 800°C.

From the viewpoint of the energy consumption in processing and the effective use of the powder as a cement-replacement material, it is desirable that the powder should be heat-treated at 600°C and used at a substitution less than 10 percent (where substitution quantity was the amount of cement part in powder).

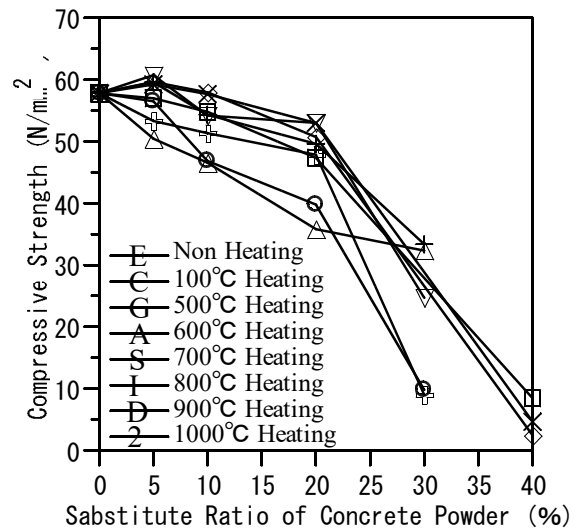


Fig.4 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the compressive strength

EXAMINATION ON THE SMASHING AND PROCESSING OF POWDER

Smashing and processing of powder

If the powder is heat-treated and then smashed by roulette mill, it can be expected that the reactivity and the fluidity of the powder may be improved. The powder B was heated at 600°C and then was smashed by the roulette mill for 1, 3, 10 minutes.

Quality of mortar using heat-treated and smashed powder B

Outline of experiment

Materials : The powder B (with a dissolution of 55.7% after heat-treatment at 600°C), ordinary portland cement, standard sand specified in JIS R 5201.

Specimen : 4×4×16 cm in dimensions with the mixture as shown in **Table 3**

Table 3 Mix-proportion of mortar using heated and smashed concrete powder

Substitute Ratio (%)	W/C (%)	S/C	Weight Ratio (Percentage to Cement (%))				
			Cement	Water	Concrete Powder B		Sand
					Cement Content	Sand Content	
0	50	3	100	50.0	—	—	300
5			100	52.6	5.20	4.14	311
10			100	55.6	11.1	8.44	325

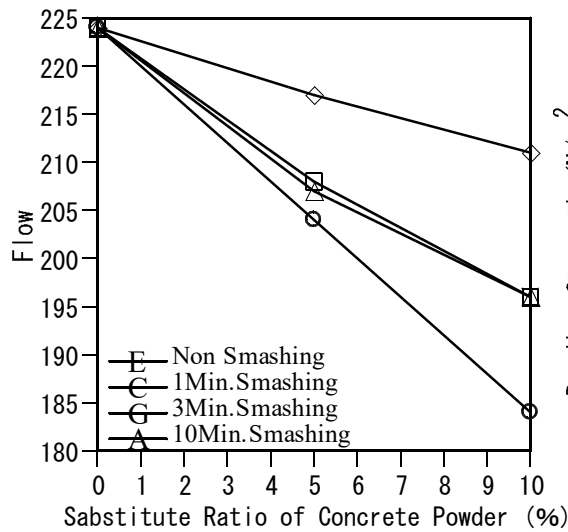


Fig.5 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the flow

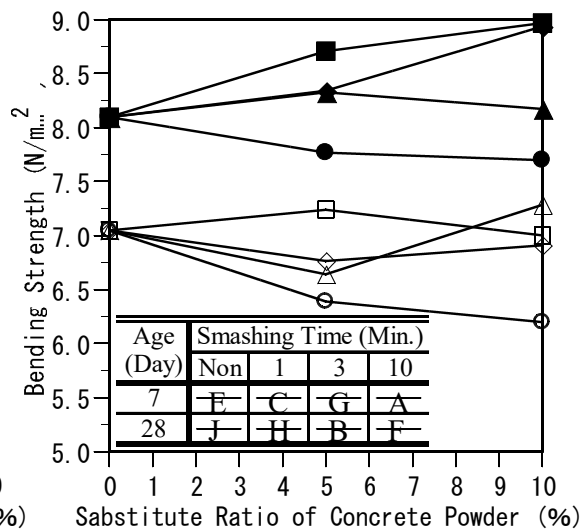


Fig.6 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the bending strength

was made according to the JIS R 5201. The specimen was sealed and cured in 20°C room until the age of 1-day, then cured in 20°C water until the age of 28-day.

Result and discussion

Fig.5 shows the relationship between the flow and the powder substitution ratio. It was proven that the decreasing rate of flow value to substitution ratio become small with the increase in smashing time by roulette mill. It was confirmed that the smashing of the powder increased the fluidity of the mortar.

Fig.6 and **Fig.7** show the bending strength and compressive strength, respectively. By smashing powder, the strength development of powder was improved and even show an increase with the increase in substitution ratio.

This may be attributed that the smashing resulted in finer particle than cement (resulting specific surface area of 10,450 cm²/g in three minutes driving) and the particle worked as a filler in the mortar.

It is proven that the process of strength development of mortar using smashed powder was large from 7-day to 28-day compared to non-smashed powder.

With above results, it is desirable for the effective use the powder that it should be heated at 600°C, smashed with roulette mill for 3 minutes and used at 10% substitution for cement.

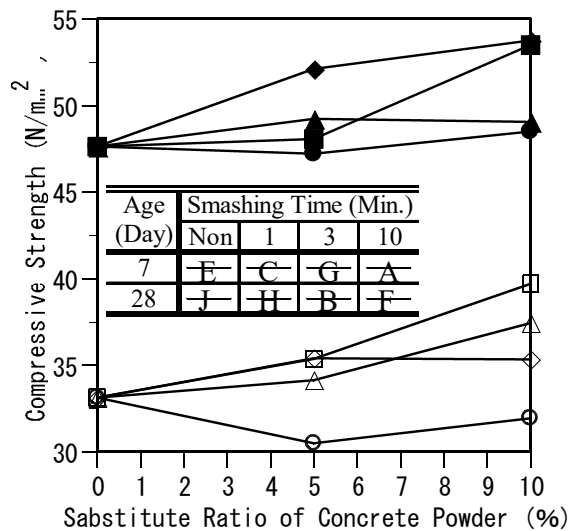


Fig.7 Relationship between the substitute ratio of concrete powder and the compressive strength

QUALITY OF CONCRETE USING HEAT-TREATED AND SMASHED POWDER

Outline of experiment

The reactivity of the powder in concrete using the smashed powder (heat-treated at 600°C and smashed to a specific surface area of 10,450 cm²/g), and substituted 10% for cement by the smashed powder was examined.

The experiments were consisted of six types of concrete as shown in **Table 4**.

Concrete ① was the ordinary concrete with a slump of 18 cm, an air content of 4.5% and comprising an ordinary portland cement (specific gravity 3.16), a river sand (specific gravity 2.62, fineness modulus 2.83), a river gravel (specific gravity 2.66, fineness modulus 6.96) and several chemical admixture.

Concrete ② was almost the same as concrete ① except for 10% substitution of cement with the smashed powder heat-treated at 600°C.

Concrete ③ was controlled by the dosage of chemical admixture so as to have the same slump and air content as that of concrete ①.

Concrete ④ was controlled by the dosage of chemical admixture and the unit water so as to have the same slump and air content as that of concrete ①.

Concrete ⑤ used the powder which was dried only at 40°C and was controlled by the dosage of chemical admixture so as to have the same slump and air content as that of concrete ①.

Concrete ⑥ used the standard sand instead of the powder and was controlled by the dosage of chemical admixture so as to have the same slump and air content as that of concrete ①.

The size of test specimen was $\phi 10 \times 20$ cm cylinder and kept in 20°C room under sealed condition until the age of 1, 7, 28, 91 days. The compressive test specimen was prepared according to JIS A 1108 (Compressive strength test method).

Workability and dosage of chemical admixture

Concrete ② showed decrease in slump for 4.5 cm and amount of air for 2.7% compared to concrete ①. Introduction of the heat-treated and smashed powder decreased the workability and air content.

Concrete ③ required 2.5 times of AE-water decreasing agent and 2 times of air controlling agent to assure the equivalent slump and air content. Lee, Sakai, Daimon and Nagataki [4],[8] reported that concrete powder adsorbed larger

Table 4 Mix-proportion of concrete using concrete powder

No.	W/C (%)	Sand Aggregate Ratio (%)	Unit Weight (kg/m ³)						Chemical Admixture (g/m ³)				Air (%)	Slu mp (cm)	Tem pera ture (%)
			Water	Cem ent	Concrete Powder B		Sand	Gra vel	*1 AE- WR	C×%	*2 No. 303A	C×%			
					Cement Content	Sand Content									
①	60	48.5	165	275	—	—	893	956	688	0.250	1145	0.416	4.8	18.1	19.0
②			165	247.5	27.5	20.5	873	956	688	0.250	1145	0.416	2.1	13.6	19.0
③			165	247.5	27.5	20.5	873	956	1727	0.628	2289	0.832	4.4	18.3	19.0
④			171	256.5	28.5	21.5	860	943	713	0.250	2803	0.980	4.2	18.5	19.0
⑤		46.0	165	247.5	27.5	16.5	831	1002	2750	1.00	67	0.0244	4.4	18.0	23.0
⑥			165	247.5	48		827	1002	688	0.250	820	0.298	4.3	18.0	23.0

*1 No.①~④,⑥ used air entraining and water reducing agent admixture (No.70) made by N company

No.⑤ used air entraining and high range water reducing agent admixture (SP-8N) made by N company

*2 No.303A : Air entraining agent admixture (No.303A aolution with a concentration of 1/100) made by N company

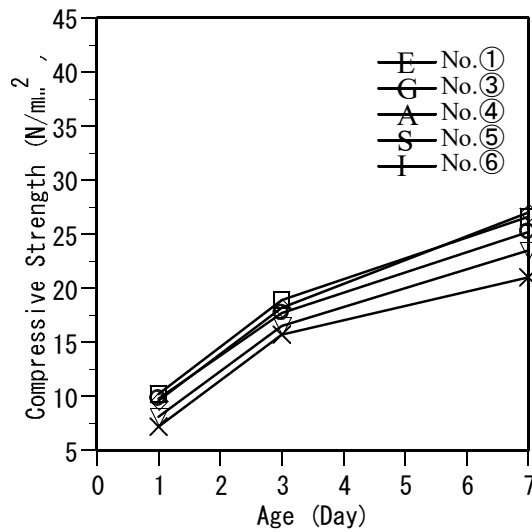


Fig.8 Relationship between the age and the compressive strength

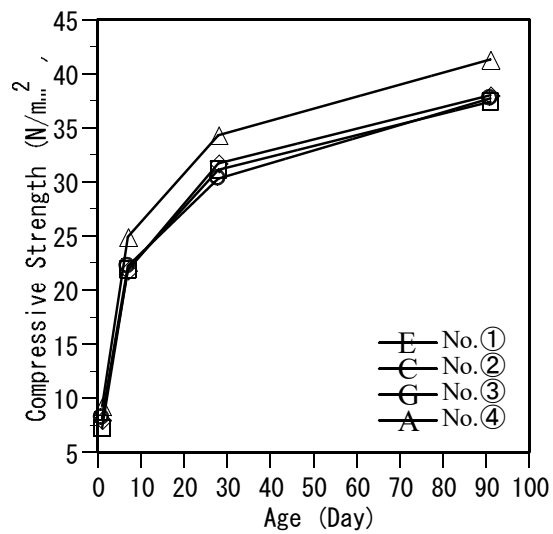


Fig.9 Relationship between the age and the compressive strength

amount of water decreasing agent than unhydrated cement. The shape and specific surface area of the powder particle were the important factor affecting the above mentioned phenomena.

Concrete ④ needed an additional 6 kg/m^3 of unit amount of water and 2.35 times of the amount of air controlling agent compared to concrete ①.

However, the amount of necessary chemical admixture and unit water content to have concrete substituted 10% for cement by the heat-treated and smashed powder are still in the practical range.

Effect of heat-treated and smashed powder

Fig.8 shows the strength development at early ages of concrete ①, ③, ④, ⑤ and ⑥. The concrete ⑥ shows the case of 10% substitution of standard sand for cement, this means that the standard sand have not effect on strength development. However the strength of concrete ③ and ④ were a little larger than that of concrete ①, the cement part in the heat-treated and smashed powder worked effectively to develop the strength of concrete. Concrete ⑤ using the powder which was dried in the oven at 40°C (the soluble part 62.6%) had larger strength than concrete ⑥, though smaller than that of concrete ①.

Fig.9 shows the strength development of concrete ①, ②, ③ and ④. The strength of concrete ①, ③ and ④ were almost the same, and the strength of concrete ② may be due to smaller air content than those of concrete ①, ③ and ④.

CONCLUSIONS

Effective utilization of concrete powder by-produced in the recycled aggregate production process can be summarized as follow.

(1) The concrete powder heated at 600°C and smashed by roulette mill for 3 minutes (specific surface area $10,450 \text{ cm}^2/\text{g}$) was able to substitute cement for 10%.

(2) The mortar and concrete using the heat-treated and smashed powder (mentioned in (1)) showed the decrease of workability and entrained air. However it can be compensated by increasing the amount of admixture or unit water at a

realistic range of dosage.

(3) In the mortar and concrete using the heat-treated and smashed powder in the range of (2), the cement part of the powder contributes to the strength development in the same way as the original cement.

ACKNOWLEDGEMENT

We thank for the cooperation of Tateishi Construction Industry Company and Ube-Mitsubishi Cement Research Laboratory.

REFERENCE

1. Kasai.Y., *Barrier to reuse construction by-products and the reuse recycled aggregate in concrete in Japan, Use of recycled concrete aggregate*, Edited by Rvindra.K.D., et al. 1998 Thomas.T. pp.433-444
2. Kemi.T., Nakata.Y., et al. A study of recrushed concrete powder. *Extended Abstracts ; The 48th Annual meeting of JCA* 1994 pp.544-549
3. Kemi.T., Nakata.Y., et al. Characters of concrete including recycled powder. *Extended Abstracts ; The 49th Annual meeting of JCA* 1995 pp.406-411
4. Jongu-kyu, Sakai.E., Daimon.M., Nagataki.S., Hydration and adsorption characteristic of recycled concrete powder. *Proceedings of the JCI* Vol.21 No.1 pp.193-198
5. Kemi.T., Nakata.Y., et al. Characters of high fluidity concrete used recycled powder. *Summaries of the 50 Annual meeting on Cement Technology* 1996 pp.340-341
6. Kemi.T., Nakata.Y., et al. An experiment on concrete placing work for test wall with high fluidity concrete used recycled concrete powder. *Summaries of the 50 Annual meeting on Cement Technology* 1996 pp.342-343
7. Hosino.M., Arashima.T., Some characters of high fluidity concrete used recycled concrete powder. *AIJ Summaries of technical papers of annual meeting A-1* 1999 pp.163-164
8. Jongu-kyu, Sakai.E., Daimon.M., Nagataki.S., Properties of cement-mortar containing recycled powder. *Proceedings of the JCI* Vol.22 No.2 pp.1117-1122