

平成 23 年度

解体工事に係る研究報告書梗概集

《研究発表会》

日 時 平成 23 年 7 月 29 日（金） 13 : 30 ~

会 場 ホテル銀座ラフィナート（7F 松風の間）

[東京都中央区銀座 1-26-1]

社団法人 全国解体工事業団体連合会

[東京都中央区八丁堀 4-1-3]

— 趣 旨 —

この梗概集は、社団法人全国解体工事業団体連合会が実施する平成 22 年度の解体工事に係る研究助成金制度を活用した研究者の当該研究報告書に基づいて作成されたものである。

— 目 次 —

No.	研究テーマ	
	研究代表者 研究協力者	所 属
1	・成形爆薬による鉄筋コンクリート部材中の鉄筋の切断技術に関する研究	
	藤 掛 一 典 福 田 貴 志	防衛大学校 システム工学群建設環境工学科教授 防衛大学校 理工学研究科地球環境科学専攻
2	・階上解体工法における床版サポートに関する実験的研究	
	青 木 孝 義 南 谷 崇 文 湯 浅 昇	名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科教授 名古屋市立大学大学院 芸術工学研究科博士課程 1 年 日本大学 生産工学部建築工学科教授
3	・解体対象 RC 造の解体耐力調査方法の検討	
	湯 浅 昇	日本大学 生産工学部建築工学科教授
4	・転倒工法における部材の大きさと縁切り部の形状が転倒荷重に及ぼす基礎的調査研究	
	中 田 善 久 坂 本 英 之 大 辻 浩 輔	日本大学 理工学部建築学科教授 日本大学大学院 理工学研究科建築学専攻 日本大学 理工学部建築学科
5	・解体工事業における業種確立の必要性	
	平 典 明	(社)福岡県建造物解体工業会 会長 株式会社平組 代表取締役

成形爆薬による鉄筋コンクリート部材中の鉄筋の切断技術に関する研究

藤掛一典*

*防衛大学校システム工学群建設環境工学科
(〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20)

1. はじめに

我が国では、1960年代の高度経済成長期に建設された多数の高層鉄筋コンクリート(RC)建物が耐用年数を迎えることから、今後、これらの建物の解体需要が増加すると考えられる。これまで、RC建物の解体には大型油圧機械を使った圧砕解体工法が一般的に適用されてきているが、振動・騒音・粉じんなどの公害が懸念されるとともに作業時に瓦礫が落下して重大事故を招く恐れが予想されるなどの問題点が指摘されている¹⁾。

一方、欧米では高層RC建物の解体に発破解体工法が適用されるようになってきている。発破解体工法は、少量の爆薬を利用してRC建物の一部の柱や梁を部分的に破壊することによって建物に蓄えられている巨大なポテンシャルエネルギーを利用して進行性破壊を誘発させて建物を一気に崩壊させる工法である^{2),3)}。発破解体工法は、従来の圧砕解体工法に比較すると、解体施工期間と費用を約半分程度に節約することが可能であり、長期にわたる振動・騒音・粉塵等の公害問題も少なくできる等

の多くの利点を有している^{4),5)}。

このように有望な発破解体工法であるが、我が国のRC建物の解体に適用するには解決すべき問題点も多い。その一つとして、欧米のRC建物に比較し、耐震性を向上させるために多くの鉄筋が部材内部に配置されており、これらの鉄筋が発破解体時のRC建物の倒壊を阻害する恐れが懸念されている^{6),7)}。

イアムラオーら⁸⁾は、爆薬の破壊力を最も効率的に利用できる内部装薬発破法を用いてRC柱部材中の鉄筋が発破解体に及ぼす影響を調べる実験的研究を行った。その結果、発破によってRC柱中のコンクリートを破砕し吹き飛ばすことは可能であるが、主鉄筋を切断することは不可能であること、およびせん断補強筋が密に配置された場合には発破後の残存耐力を十分低下させることが困難であることを明らかにしている。したがって、発破後のRC柱部材の残存耐力が大きい場合には、建物が倒壊しない可能性も十分あり得ると思われる。そのような場合を考えると、主鉄筋を爆薬によって切断する技術を開発することが建物を安全かつ効率的に解体する上

で有効であるとの考えに至った。

そこで本研究では、鋼板の切断に用いられる成形爆薬^{9, 10)}を用いて RC 部材中の鉄筋を切断することが可能なかどうかを調べることにした。その際、鉄筋のかぶり厚さ、鉄筋の直径、コンクリートの強度および爆薬量が成形爆薬を用いた鉄筋の切断効果に及ぼす影響をあわせて調べることにした。

2. 実験概要

2.1 試験体の概要

成形爆薬による RC 部材中の鉄筋に対する切断効果を調べるために鉄筋径、鉄筋かぶりおよびコンクリート強度の異なる RC 要素試験体を作成した。RC 要素試験体の諸元ならびに一覧を、それぞれ図-1 と表-1 に示す。RC 要素試験体は高さ 150mm×幅 150mm の断面を有し、長さは 500mm である。試験体中には所定のかぶり位置(0, 25, 50, 100mm)に D13, D22 あるいは D32 異形鉄筋を配置している。鉄筋の降伏強度は 345MPa であり、鉄筋とコンクリートの付着を十分確保するために厚さ 3mm の鋼板を鉄筋の両端に溶接した。使用するコンクリートの圧縮強度は、それぞれ 50.4 MPa, 68.5 MPa および

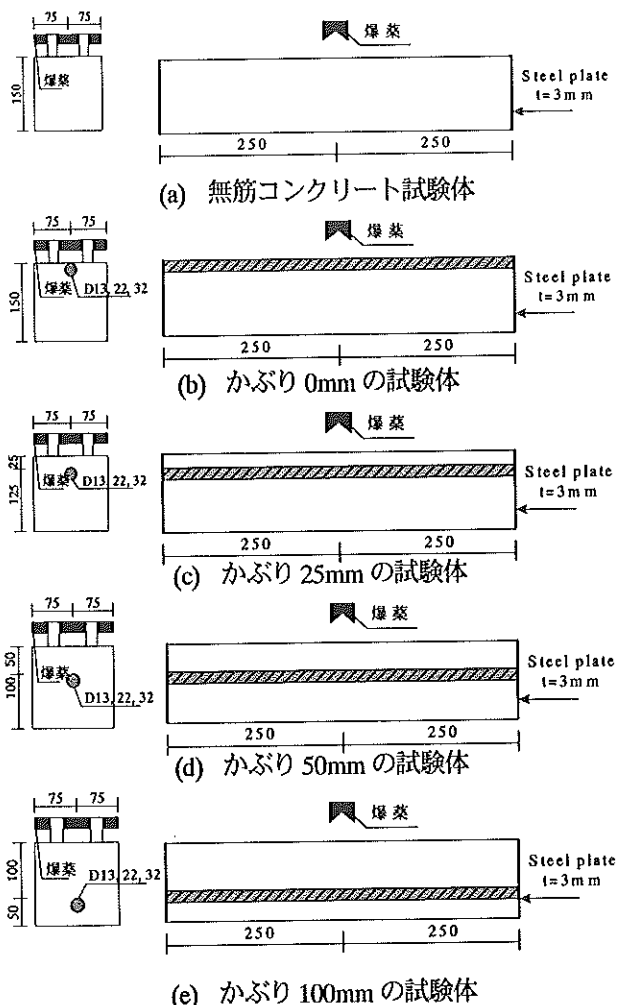


図-1 各種 RC 要素試験体 (単位: mm)

93.8 MPa の 3 種類である。ここでは、3 種類のコンクリートをそれぞれ Fc50, Fc70 および Fc90 と呼ぶことにする。各コンクリートの配合を表-2 に示す。

2.2 使用成形爆薬

成形爆薬は、図-2 に示すように爆薬、ライナー、ケース、プースターおよび電気雷管から構成され、爆轟によってライナーから生成された高速で飛ぶジェットによって鋼材を切断する能力を有する。ライナー材には、一般的に銅、亜鉛、アルミニウム等が用いられる。ライナー材の密度が大きくなるほど切断可能な鋼材厚も大きくなる。

写真-1 に本試験で用いた爆薬量の異なる 3 種類の成形爆薬(Sc20, Sc35, Sc50)を示す。また、それらの諸元を表-3 に示す。本成形爆薬にはコンポジション B 爆薬(爆速は約 8000m/s)を用いるとともにライナー材には密度が大きく比較的切断能力の大きな銅を用いている。ちなみに、Sc20, Sc35, Sc50 の各成形爆薬はそれぞれ厚さ 20mm, 35mm, 50mm の鋼板を切断する能力を有する。

表-1 試験体一覧

試験体名	かぶり厚 (mm)	鉄筋	コンクリート強度 (N/mm ²)
Cv0D0Fc50	—	無	50.4
Cv0D13Fc50	0	D13	
Cv0D22Fc50		D22	
Cv0D32Fc50		D32	
Cv25D13Fc50	25	D13	
Cv25D22Fc50		D22	
Cv25D32Fc50		D32	
Cv50D13Fc50	50	D13	
Cv50D22Fc50		D22	
Cv50D32Fc50		D32	
Cv100D13Fc50	100	D13	
Cv100D22Fc50		D22	
Cv100D32Fc50		D32	
Cv50D22HFc70	50	D22	68.5
Cv50D22SHFc90			93.8

表-2 コンクリート配合表

呼び名	Fe50	Fe70	Fe90	
W/Cあるいは W/(C+SF)(%)	51	40	25	
単位量(g/cm ³)	水(W)	181	170	160
	セメント(C)	355	425	576
	細骨材(S)	770	728	606
	粗骨材(G)	988	998	963
	シリカフェーム(SF)	—	—	64
	混和剤(AD)	3.55	4.04	19.2

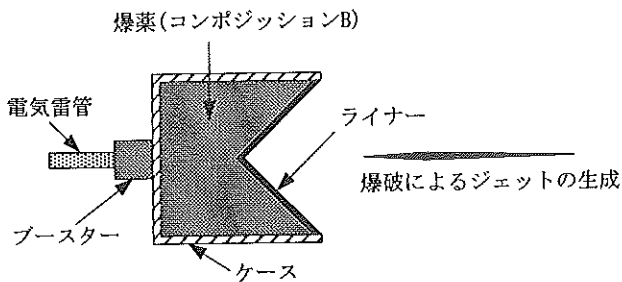


図-2 成形爆薬の概要

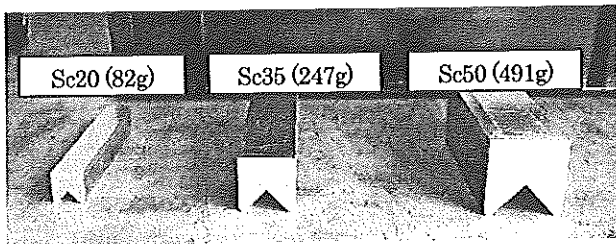


写真-1 使用成形爆薬

表-3 成形爆薬の諸元

呼名	薬量 (g/cm)	リ付材 厚(mm)	密度 (g/cm ³)	高さ (mm)	幅 (mm)	スタンド (mm)
Sc20	5.47	1.0	1.68	20	20	20
Sc35	16.45	1.8	1.68	35	35	35
Sc50	32.73	2.5	1.68	50	50	50

2.3 成形爆薬発破試験

表-4 に発破試験の一覧を示す。ここでは、まず無筋コンクリートに対する成形爆薬による破断効果を調べるために、Cv0D0Fc50 試験体を用いた3ケースの発破試験を行う。次に成形爆薬によるRC試験体中の鉄筋の切断効果を調べるために、かぶり、鉄筋径、コンクリート強度および爆薬量をパラメータとする25ケースの発破

試験を行う。図-3 に示すように切断対象物から成形爆薬までの距離はスタンドオフと呼ばれ、爆破によって形成されるジェットを十分に成長させるためには適切な距離をとる必要がある。一般的には成形爆薬の幅に相当するスタンドオフをとるのが理想的とされていることから、本試験では Sc20, Sc35, Sc50 の各成形爆薬のスタンドオフとして、それぞれ20mm, 35mm, 50mmを発泡スチロールで作成した支持具によって確保することにした。写真-2 にRC要素試験体に所定のスタンドオフを確保して成形爆薬を設置した状況を示す。成形爆薬の起爆には6号電気雷管を使用することにした。

表-4 発破試験の一覧

No.	発破試験ケース	試験体名	使用爆薬
1	Cv0D0Fc50-Sc20	Cv0D0Fc50	Sc20
2	Cv0D0Fc50-Sc35	Cv0D0Fc50	Sc35
3	Cv0D0Fc50-Sc50	Cv0D0Fc50	Sc50
4	Cv0D13Fc50-Sc20	Cv0D13Fc50	Sc20
5	Cv0D22Fc50-Sc20	Cv0D22Fc50	Sc20
6	Cv0D32Fc50-Sc20	Cv0D32Fc50	Sc20
7	Cv0D32Fc50-Sc35	Cv0D32Fc50	Sc35
8	Cv25D13Fc50-Sc20	Cv25D13Fc50	Sc20
9	Cv25D13Fc50-Sc35	Cv25D13Fc50	Sc35
10	Cv25D22Fc50-Sc20	Cv25D22Fc50	Sc20
11	Cv25D22Fc50-Sc35	Cv25D22Fc50	Sc35
12	Cv25D32Fc50-Sc35	Cv25D32Fc50	Sc35
13	Cv25D32Fc50-Sc50	Cv25D32Fc50	Sc50
14	Cv50D13Fc50-Sc20	Cv50D13Fc50	Sc20
15	Cv50D13Fc50-Sc35	Cv50D13Fc50	Sc35
16	Cv50D13Fc50-Sc50	Cv50D13Fc50	Sc50
17	Cv50D22Fc50-Sc35	Cv50D22Fc50	Sc35
18	Cv50D22Fc50-Sc50	Cv50D22Fc50	Sc50
19	Cv50D32Fc50-Sc50	Cv50D32Fc50	Sc50
20	Cv100D13Fc50-Sc35	Cv100D13Fc50	Sc35
21	Cv100D13Fc50-Sc50	Cv100D13Fc50	Sc50
22	Cv100D22Fc50-Sc35	Cv100D22Fc50	Sc35
23	Cv100D22Fc50-Sc50	Cv100D22Fc50	Sc50
24	Cv100D32Fc50-Sc50	Cv100D32Fc50	Sc50
25	Cv50D22Fc70-Sc35	Cv50D22Fc70	Sc35
26	Cv50D22Fc70-Sc50	Cv50D22Fc70	Sc50
27	Cv50D22Fc90-Sc35	Cv50D22Fc90	Sc35
28	Cv50D22Fc90-Sc50	Cv50D22Fc90	Sc50

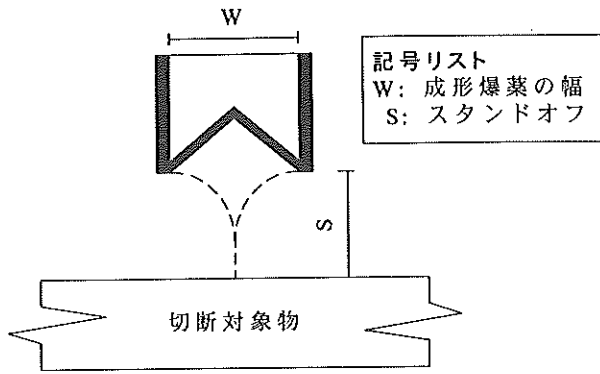


図-3 スタンドオフの定義



(a) 無筋コンクリート

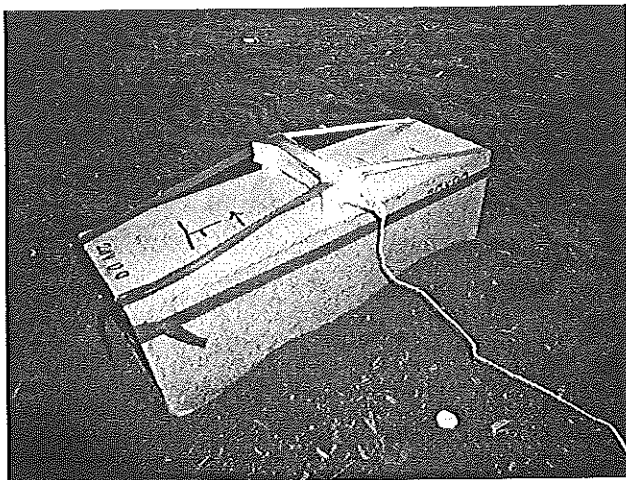
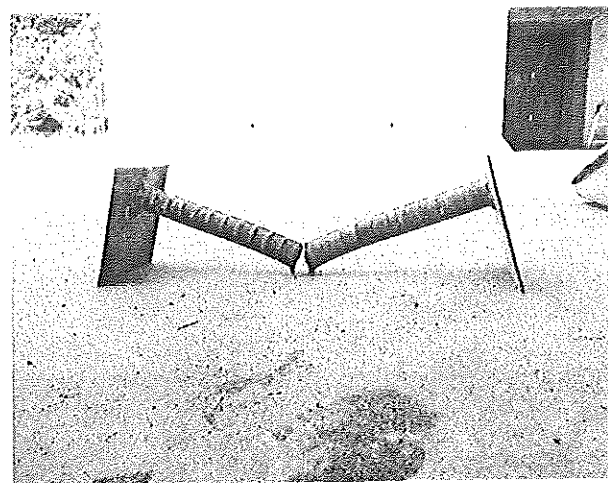
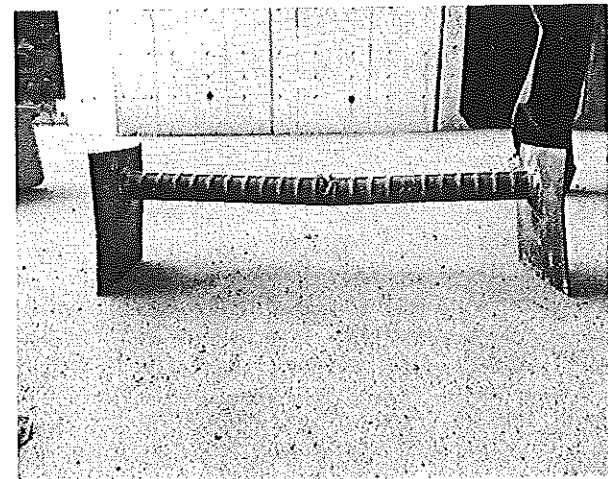


写真-2 発破試験状況



(b) 完全切断



(c) 不完全切断
写真-3 各破壊状況

3. 実験結果及び考察

3.1 試験体の破壊状況

写真-3 に発破試験直後の無筋コンクリート試験体 (Cv0D0Fc50) および鉄筋コンクリート試験体の破壊状況を示す。成形爆薬の爆発によって無筋コンクリートは粉々に破壊された。成形爆薬による鉄筋を配置した RC 要素試験体の破壊状況をまとめて表-5 に示す。ここでは、写真-3 に示すように成形爆薬の爆発によって生成されるジェットによって鉄筋が完全に切断される場合を完全切断(表-5 中の記号で○)、そしてジェットが鉄筋に食い込むものの切断に至らない場合を不完全切断(表-5 中の記号で×)にそれぞれ分類した。また、不完全切断の場合には、ジェットによって鉄筋中に切り欠かれた溝の深さを食い込み量としてノギスで計測した。なお、鉄筋の切断面を観察するとライナー材として用いた銅が付着していることが認められた。

3.2 鉄筋径が及ぼす影響

表-5 に示すように同じ成形爆薬 Sc20 を用いた鉄筋がぶりが 0 で鉄筋径の異なる Cv0D13Fc50-Sc20, Cv0D22

Fc50-Sc20, Cv0D32Fc50-Sc20 の試験結果をみると、鉄筋径が 13 および 22mm の Cv0D13Fc50-Sc20, Cv0D22Fc50-Sc20 は鉄筋が完全に切断されるのに対して、鉄筋径が 32mm の Cv0D32Fc50-Sc20 は鉄筋が完全に切断

表-5 RC 部材要素試験体の発破試験結果

発破試験ケース	鉄筋破壊状況	
	切断状況	くい込み量(mm)
Cv0D13Fc50-Sc20	○	—
Cv0D22Fc50-Sc20	○	—
Cv0D32Fc50-Sc20	×	25
Cv0D32Fc50-Sc35	○	—
Cv25D13Fc50-Sc20	×	4.8
Cv25D13Fc50-Sc35	○	—
Cv25D22Fc50-Sc20	×	8.4
Cv25D22Fc50-Sc35	○	—
Cv25D32Fc50-Sc35	×	16.7
Cv25D32Fc50-Sc50	○	—
Cv50D13Fc50-Sc20	×	0
Cv50D13Fc50-Sc35	○	4.1
Cv50D13Fc50-Sc50	○	6.8
Cv50D22Fc50-Sc35	×	—
Cv50D22Fc50-Sc50	○	27.8
Cv50D32Fc50-Sc50	○	0
Cv100D13Fc50-Sc35	×	5.4
Cv100D13Fc50-Sc50	○	0
Cv100D22Fc50-Sc35	×	2.15
Cv100D22Fc50-Sc50	×	3.6
Cv100D32Fc50-Sc50	×	8.5
Cv50D22Fc70-Sc35	×	—
Cv50D22Fc70-Sc50	○	8
Cv50D22Fc90-Sc35	×	18
Cv50D22Fc90-Sc50	○	—

されるまでには至っていない。また、成形爆薬 Sc35 を用いた鉄筋かぶりが 0 で鉄筋径が 32mm である Cv0D32Fc50-Sc35 の場合には、鉄筋が完全に切断することがわかる。したがって、鉄筋径が大きくなるほど鉄筋を切断するために必要な爆薬量は増加するといえる。

3.3 鉄筋かぶりおよび爆薬量が及ぼす影響

表-6 に鉄筋のかぶり厚さおよび爆薬量の異なる発破試験における鉄筋の代表的な損傷状況を示す。成形爆薬 Sc20 を用いた場合には、かぶり 0mm の Cv0D13Fc50-Sc20 では鉄筋が完全に切断されるのに対して、かぶりが 25mm および 50mm の Cv25D13Fc50-Sc20, Cv50D13Fc50-Sc20 では鉄筋は完全に切断されずにかぶりが増加するにしたがいくい込み量が減少する結果となっている。すなわち、かぶりコンクリートがあることによって成形爆薬による鉄筋の切断性能は著しく減少すること

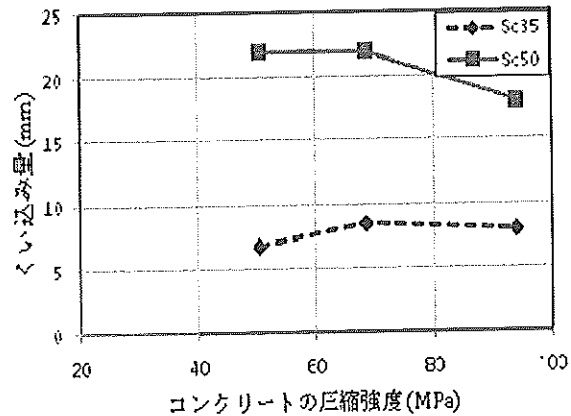


図-4 コンクリートの圧縮強度とくい込み量の関係

がわかる。

また、直径 32mm の鉄筋を切断する際に、かぶり 50mm の場合には Sc50 の成形爆薬が必要なのに対して、かぶり 0mm の場合には Sc35 の成形爆薬で十分であることがわかる。すなわち、実際の RC 柱の主鉄筋を成形爆薬で切断する場合、切断位置近傍のかぶりコンクリートをはつり、主鉄筋を露出させた状態で成形爆薬を設置するようにすれば、主鉄筋を切断するために必要とされる爆薬量を減らし節約できるといえる。

3.4 コンクリートの圧縮強度が及ぼす影響

かぶり 50mm で D22 鉄筋を配置したコンクリート強度が異なる試験体に対する発破試験で得られた鉄筋へのくい込み量とコンクリートの圧縮強度の関係を図-4 に示す。なお、D22 鉄筋が完全に切断された Cv50D22Fc50-Sc50 と Cv50D22Fc70-Sc50 のくい込み量は鉄筋径に等しい 22mm として図-4 に表示している。この図から、成形爆薬 Sc50 の場合には、コンクリートの圧縮強度が増加するにしたがいくい込み量がわずかに減少する傾向を示していることがわかる。しかしながら、成形爆薬 Sc35 の場合にはくい込み量はコンクリートの圧縮強度によらず約 7mm 程度となっている。したがって、鉄筋へのくい込み量にコンクリートの圧縮強度が及ぼす影響は無視できるほど小さいといえる。

3.5 鉄筋を切断するために必要な爆薬量の評価

これまでの検討から、コンクリート中にある鉄筋を切断するために必要な爆薬量は、主にかぶりおよび鉄筋径に影響を受けることがわかった。そこでここでは、本発破試験で得られた不完全破断した場合の鉄筋へのくい込み量および完全破断した場合の鉄筋径を切断可能な鉄筋径として、図-5 に爆薬量と切断可能な鉄筋径の関係を示す。この図から各かぶりにおける切断可能な鉄筋径は爆薬量が増加するにつれて線形的に増加することがわかる。

次に、図-5 に示す切断可能な鉄筋径と爆薬量ならび

に鉄筋のかぶり厚さの関係を回帰したところ次式を得た。

$$Da = 0.875Wsc - 0.427Cv + 16.162 \quad (1)$$

ここで、 Da : 切断可能な鉄筋径(mm), Wsc : 爆薬量(g/cm), Cv : 鉄筋のかぶり(mm)である。式(1)で表される関係を図-5に示す。式(1a)は試験結果と良い一致を示すことがわかる。したがって、かぶり Cv の位置にある直径 Da の鉄筋を切断するために必要となる爆薬量 Wsc は式(1)により次式で与えることができる。

$$Wsc = 1.143Da + 0.488Cv - 18.471 \quad (2)$$

式(2)を用いると、例えば、 $Cv = 60\text{mm}$ で $Da = 29\text{mm}$ の場合に必要な爆薬量は $Wsc = 44\text{g/cm}$ と計算されるこ

とになる。

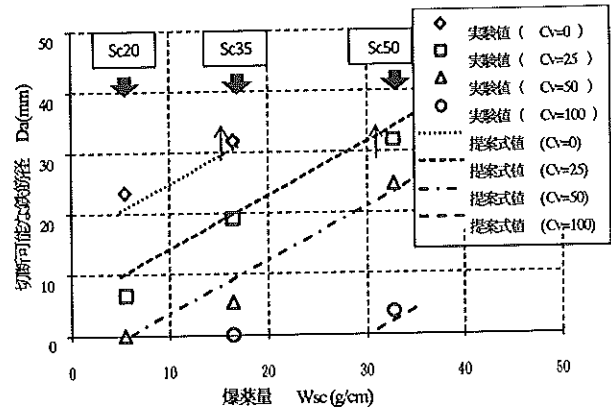


図-5 各かぶり厚における切断可能な鉄筋径と爆薬量の関係

表-6 各爆薬量における破壊状況に対するかぶり厚さの及ぼす影響

かぶり厚さ (mm)	爆薬		
	Sc20	Sc35	Sc50
0	 完全切断 Cv0D13Fc50-Sc20	 完全切断 Cv0D32Fc50-Sc35	なし
25	 くい込み量=4.8mm Cv25D13Fc50-Sc20	 くい込み量=16.7mm Cv25D32Fc50-Sc35	完全切断 Cv25D32Fc50-Sc50
50	 くい込み量=0mm Cv50D13Fc50-Sc20	 くい込み量=6.8mm Cv50D22Fc50-Sc35	完全切断 Cv50D32Fc50-Sc50
100	なし	 くい込み量=0mm Cv100D13Fc50-Sc35	くい込み量=3.6mm Cv100D32Fc50-Sc50

4. 結 言

本研究では、成形爆薬を用いて RC 部材中の鉄筋を切断することが可能であるのかどうかを調べるとともに、鉄筋のかぶり厚さ、鉄筋の直径、コンクリートの強度及び爆薬量が成形爆薬を用いた鉄筋の切断効果に影響を及ぼす影響をあわせて調べた。その結果から得られた結論を以下にまとめる。

- 1) 適切な爆薬量の成形爆薬を用いることによってコンクリート内部の鉄筋でも切断することが可能であることがわかった。
- 2) コンクリート中の鉄筋を切断するために必要な成形爆薬の爆薬量は、鉄筋径ならびにかぶりの厚さに大きく影響を受けるが、コンクリートの圧縮強度が及ぼす影響は小さいことがわかった。
- 3) 本試験結果に基づき、切断可能な鉄筋径と爆薬量ならびに鉄筋のかぶり厚さの関係を回帰した。また、その回帰式から、かぶり厚さならびに鉄筋径を考慮してコンクリート中にある鉄筋を切断するために必要となる爆薬量を求める方法を提示した。
- 4) 成形爆薬を用いて鉄筋を切断する手法は、柱・梁部材のみならず耐震壁等にも適用することができると思われる。

参考文献

- 1) 小林茂雄・坂田英一・橋爪清・中川浩二：鉄筋コンクリート構造物の発破解体設計と実施，土木学会論文集，498/VI-24，pp.67-76，1994。
- 2) Loizeaux J. M. and Loizeaux D. K. : Demolition by Implosion, Scientific American, pp.146-153, Oct., 1995。

- 3) Loizeaux M. and Osborn A. E. N. : Progressive Collapse -An Implosion Contractor's Stock in Trade, Journal of Performance of Constructed Facilities, ASCE, Vol. 20, No. 4, pp.391-402, 2006。
- 4) 木村真：海外における建物の解体の現状，工業火薬，Vol.48, No.3, pp.139-150, 1987。
- 5) 解体工法研究会：新・解体工法と積算，(財)経済調査会，pp.50-56，2006。
- 6) 馬貴臣・三宅淳巳・小川輝繁・緒方雄二・瀬戸政弘・勝山邦久：鉄筋コンクリートの発破解体における鉄筋の影響について，火薬学会誌，Vol.59, No2, pp.93-103，1998。
- 7) 木下雅敬・長谷川昭美・松岡栄・中川浩二：発破による鉄筋コンクリート構造物の解体に関する基礎的研究，土木学会論文集，第403号/VI-10(報告)，pp.173-182，1989。
- 8) イアムラオー ピーラサック・藤掛一典・大野友則：鉄筋コンクリート構造物の発破解体に関する基礎的研究，構造工学論文集，Vol.56A, pp.1189-1195，2010。
- 9) 加藤政利・中村雄治・松尾彰・緒方雄二・勝山邦久・橋爪清：鋼構造物の発破解体に用いる成形爆薬の有効な形状と鋼板の衝撃破壊に関する研究，火薬学会誌，Vol.59, No.5, pp.261-274，1998。
- 10) 加藤政利・中村雄治・松尾彰・緒方雄二・勝山邦久・橋爪清：成形爆薬による鋼構造物の発破解体に関する研究(第1報) -鋼板の材料強度の違いによる成形爆薬の切断能力，火薬学会誌，Vol.61, No.6, pp.281-295，2000。

階上解体工法における床版サポートに関する研究

名古屋市立大学大学院芸術工学研究科・教授 青木 孝義
同・博士前期課程1年 南谷 崇文
日本大学生産工学部建築工学科・教授 湯浅 昇

1. はじめに

高度経済成長期以降に大量に建設された建築物は現在老朽化が進み、耐震診断の結果、不適格とされたものは、改修・補強もしくは取り壊しが必要となる。このような補強や取り壊しの需要が増える中で、解体工事に際し、死亡・傷害事故など重大災害が数多く起こっており、建設業における災害は全産業の3割強を占める。建設業の解体工事に際する事故の背景には、経験値に任せた解体作業手順の判断が行われていること、施工計画書の作成過程・根拠が明確でないこと、また経費と時間の削減を理由とした無理な作業工程が実施されていることなどが挙げられる。特に、質量が大きく高層であるRC建築物やSRC建築物は階上解体工法を必要とし、墜落事故や柱・外壁の逆転倒事故が発生しやすく、重大災害の発生が多い。そのため、階上解体工事に際する安全面を強化していくことが必要不可欠である。

しかし、建築物解体に関する既往の研究は、環境・資源問題を考えた解体材の再利用^{1), 2)}や解体時に発生する振動に関する研究³⁾、解体効率の向上を目指す研究⁴⁾、また、解体工事に際する基礎的データの収集と考察に関する研究はあるものの⁵⁾、解体工事に際する安全性に関する数値的な検証や計算方法確立に関する研究はごくわずかである⁶⁾⁻⁸⁾。

以上を背景として、本研究では、階上解体の重機や解体材の重量により床版が崩壊することによる事故に注目し、床版耐力や床版サポート必要耐力と必要階数を求める計算方法の検討を行っている。

2. 床版サポートに起因する事故

解体工事の際、人や重機が乗ったところ、サポート不足により床版が破壊して下階へ落下してしまったり、床版が曲がったり、重機が落ちそうになったりした事故もある。例として、1994年沖縄県で、外部階段の踊り場を圧砕機で解体中に踊り場が崩れ、5m下の地面に墜落し作業員が死亡する事故がある。原因は踊り場の耐力を把握しないまま、荷重を与えたことが考えられる。これより、サポートの計算方法の確立が必要である。

3. 床版サポートの安全性

床版サポートを移動する重機や圧砕され堆積したコンクリート塊などに床版が耐えられるように床版サポートを架設する必要がある。安全な床版サポートの架設方法⁶⁾の略算を用い検討する。写真1、図1、図2は基本的な床版サポートの架け方である。

3. 1 サポートに作用する荷重の計算

重機が作業する階の床版に作用する荷重をそれ以下の階のそれぞれの床版によって支持する必要がある。そのために、作業階の大変形や、サポートの座屈などを生ずることなく支持するためには、次の式が成立する必要がある。

$$W_T \leq \left(R_0 + \sum_{i=1}^n R_i \right) - \left(W_U + W_0 + \sum_{i=1}^n W_i \right) \quad (1)$$

ここで、作業階の単位面積当たりの総荷重を W_T 、重機が作業する階を F_0 、その下の支持階を順次 $F_i (i=1, 2, 3, \dots, n)$ とする。 R_0, R_i はそれぞれ F_0, F_i の床版の単位面積当たりの耐力、 W_U は作業階の床版・柱・梁・壁の単位面積当たりの荷重、 W_0, W_i は F_0, F_i の床版

の単位面積の自重に基づく荷重である(図1)。

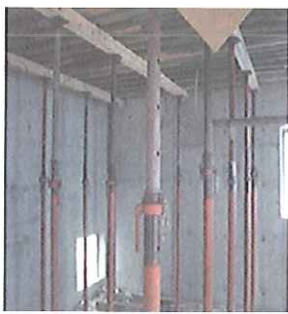


写真1 床版サポートの設置例

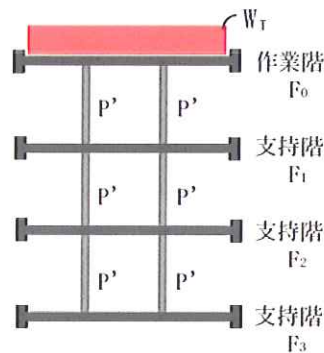


図1 床版サポートのイメージ

る荷重 W_T が床自重や解体物重量などの荷重 W_T よりも小さい場合はサポートが必要となるので、必要サポート層数 n や必要サポート力 S_R を以下の式から求める。

$$n = P/P' \quad (2)$$

$$S_R \geq n \cdot \alpha \cdot P' \quad (3)$$

ここで、 P は作業階単位幅 1m に対し必要なサポート支持力、 P' は支持階一層分の床版ユニットが負担できる荷重、 α はサポート間隔である。

3. 3 床版サポート略算の検証

検証は式(1)～(3)による計算結果と、有限要素解析から得られた結果を比較して行う。手計算には、図3に示した幅 1m、スパン 4m、厚さ 0.15m、引張鉄筋重心からコンクリート圧縮縁までの距離 0.035m、引張鉄筋比 0.4%、鉄筋の降伏強度 3000kg/cm²、自重 4kN/m² の床版を利用し、作業階に 45kN/m² の等分布荷重をかける。また、中央 1 点サポートとする。

1) 床版サポートの略算例の結果

$$n = P/P' = 8.38/2.55 \div 3.29 \quad \therefore 4 \text{ 層}$$

この場合、3層でも安全だと言える結果であるが、3層で耐力に余裕がある必要があり、4層では実用上不都合であるため3層で可能なサポート間隔 α' を求める。

$$\alpha' = \alpha_0 \cdot n/n_0 = 1.0 \cdot 3/3.29 \div 0.9m$$

ここで、 α_0 は4層の場合のサポート間隔、 n_0 は α_0 に対応する支持層数である。

2) 有限要素解析結果

1)の結果を受け、床版の大変形や崩壊の危険が高いサポートされていない状態(サポート層数 0)から安全とされたサポート層数 4までのモデルを用いて、弾塑性解析により崩壊荷重とひび割れ状況を検討する。なお、有限要素解析には、汎用ソフト DIANA を使用した。

サポート層数 0 からサポート層数 4 までの床版ユニットについての有限要素解析により

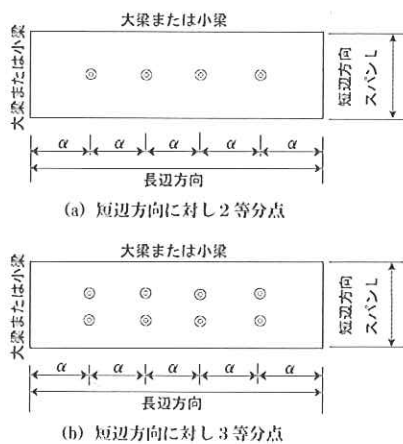


図2 床版サポートの架け方

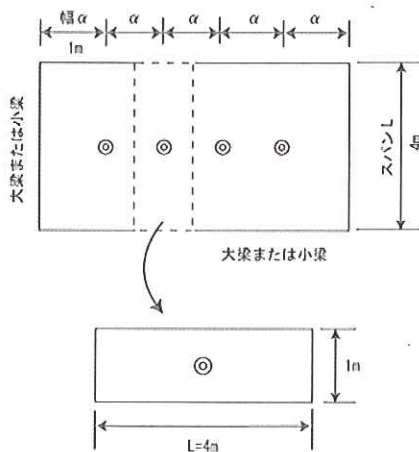


図3 計算例の床版サポートユニット

3. 2 床版サポートの略算方法

作業階スラブの曲げ M_u が床自重、解体物重量などの荷重によるモーメント M よりも小さいか、無サポート状態のスラブが負担でき

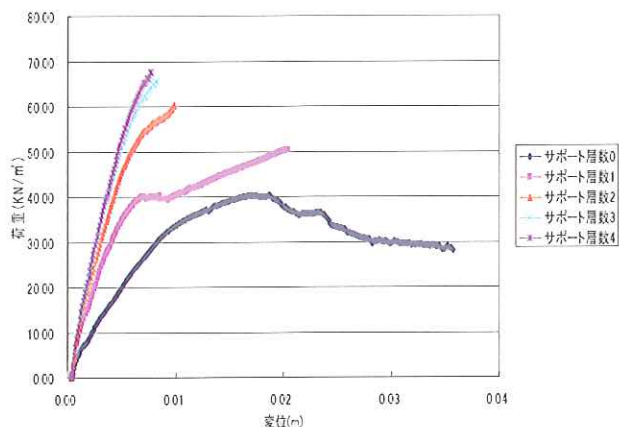


図4 荷重 - 変位曲線

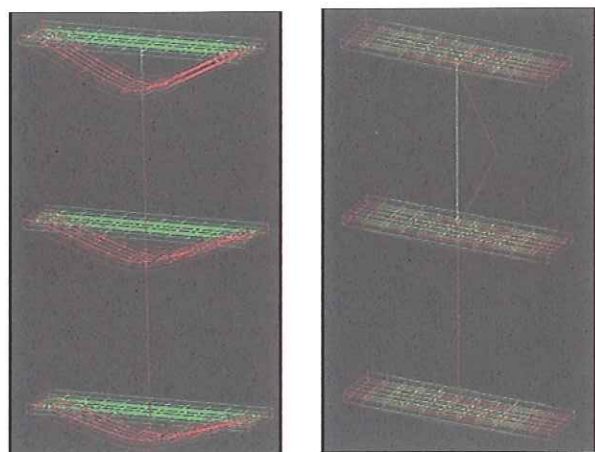


図5 サポート層数2 変形図 図6 サポート層数2 崩壊図

得られた荷重-変位曲線を図4に、サポート層数2の床版ユニットの変形図を図5に、崩壊図を図6に示す。図中、緑色は変形前を、赤色は変形後を示す。

荷重-変位曲線(図4)からサポート層数0の場合、変形が0.02mで、最も大きい荷重40.19kN/m²がかかり、その後荷重は低下している。この結果より、サポート層数0では、作業階に40.19kN/m²かかると床版が崩壊すると考えられる。また、サポート層数2では、作業階に60.23kN/m²かかるとサポートが座屈で崩壊し、崩壊荷重が決定すると考えられる。なお、サポート数を多くすればするほど、耐力は向上し、サポート層数4では、67.7kN/m²が最大荷重となる。

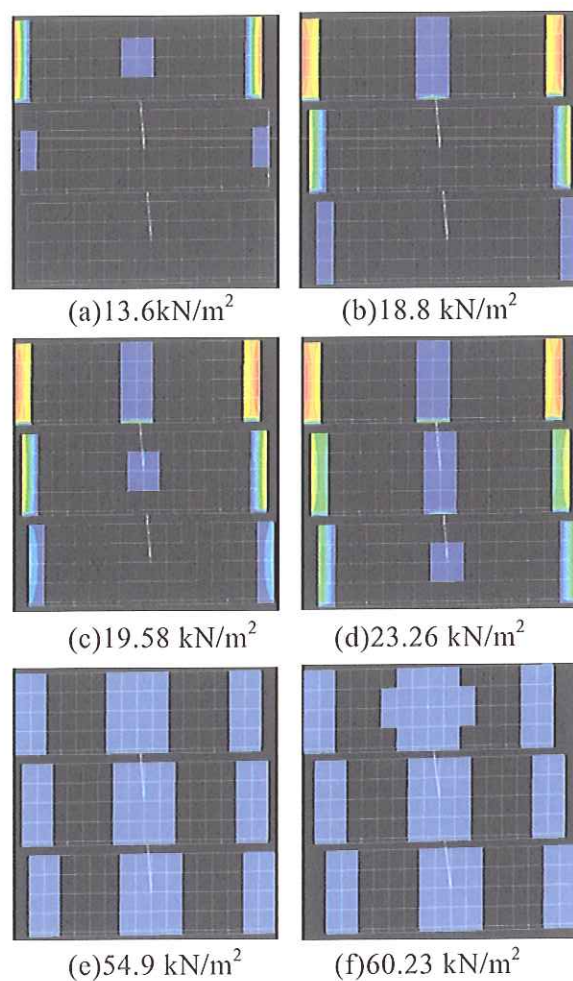


図7 サポート層数2の床版上下面のひび割れ図

サポート層数2の変形図(図5)から、床版中央部が最も変形し、作業階から下の階にいくに連れて、中央の変形は小さくなるのが分かる。また、サポート層数2の崩壊図(図6)から、サポート層数2では、サポートの座屈により崩壊荷重が決定することが分かる。

図7にサポート層数2の床版ユニットの作業階床版面のコンクリートひび割れ発生状態を示す。(a)~(f)に、コンクリートにひび割れが最初に発生する13.65kN/m²からサポートが座屈するまでのひび割れの様子を示す。

サポート層数0の床版ユニット、サポート層数2の床版ユニット、サポート層数4の床版ユニットを比較するために、作業階床版下面のコンクリートひび割れ発生の様子を図8に示す。それぞれ、(a)には初めて変化が現れ

た様子を、(b)には 45kN/m² 時の状態を表す。ただし、サポート層数 0 に関しては、荷重が 45kN/m² に達する前に崩壊したため、鉄筋が降伏するまでにかけた最大荷重 40.19kN/m² 時の状態とした。

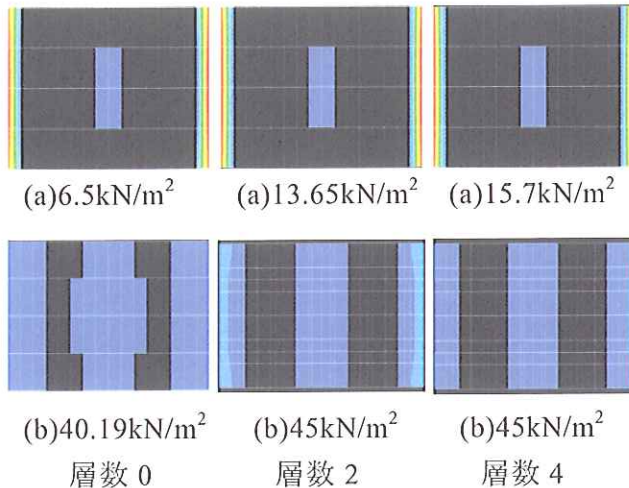


図 8 各層数の床版下面のひび割れ発生状況

3) 結果の比較と考察

崩壊荷重について考察する。略算では、終局曲げモーメントの計算より、作業階に 4.5t/m² (45kN/m²) の荷重がかかっている場合、サポート層数 2 では崩壊するという結果となったが、有限要素解析結果 (図 4) では最大荷重 60.23kN/m² まで耐力があり、略算とは異なる結果が得られた。しかし、サポート層数 0 の有限要素解析結果より、サポート無しでは 40.19kN/m² で崩壊するという結果が得られ、サポートが必要となる点は略算と一致した。

次に崩壊過程について考察する。図 7 より、サポート層数 2 の床版ユニットにおいては 45kN/m² がかかる時には広い範囲にひび割れが発生しており、コンクリート塊の落下などが考えられるため危険であると判断できる。したがって、サポート層数 2 は不足であると考えられる。また、図 7、図 8 (b) より、45kN/m² がかかる時のサポート層数 2 は層数 4 に比べて広範囲にひび割れが発生していることが確

認できた。したがって、サポート層数 2 の作業階床版は、下面のコンクリート塊の落下・飛来が考えられるため、下階で作業している人の死傷につながる危険性があると言える。

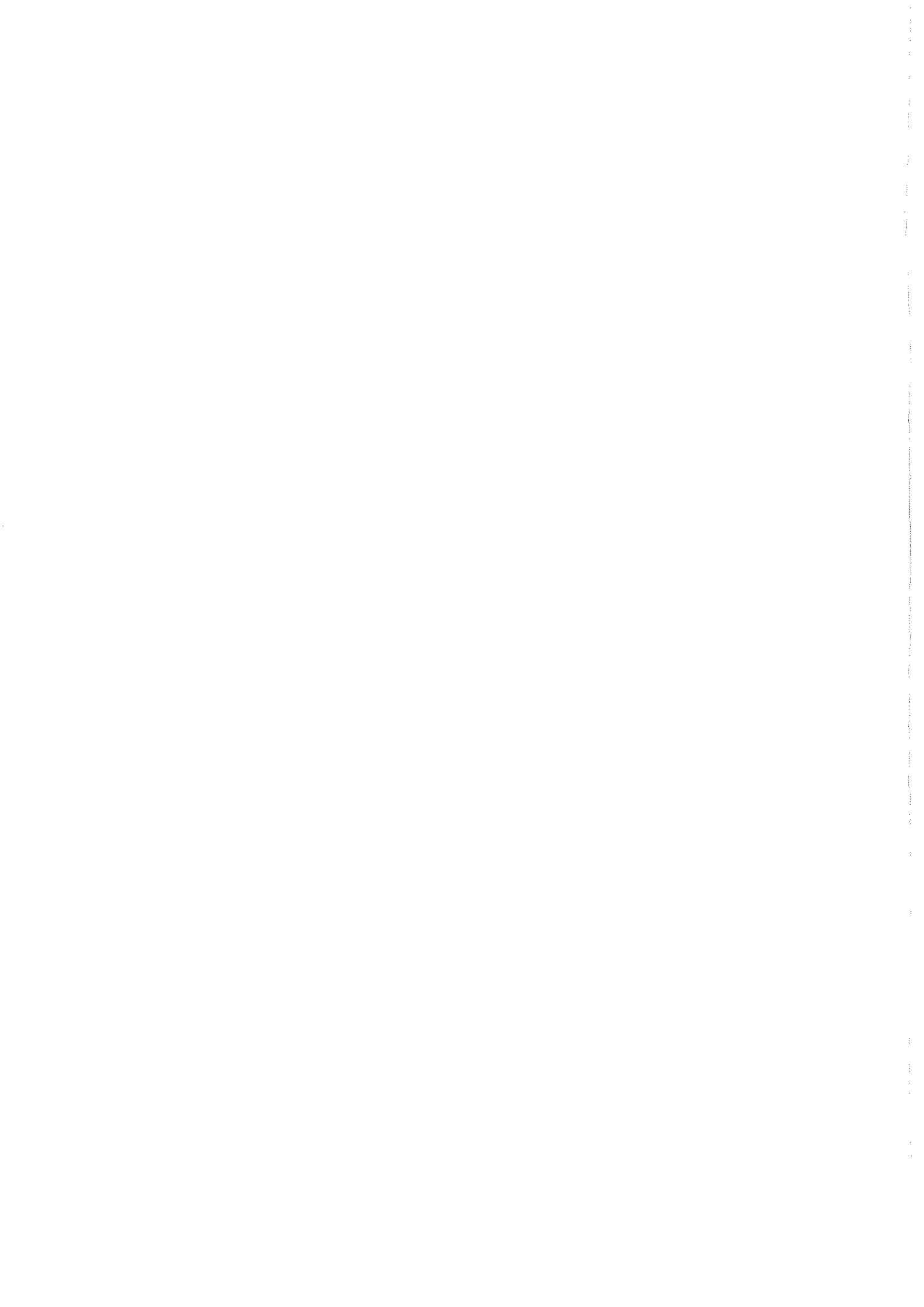
4. まとめ

床版サポートの略算より、今回検討した床版は、サポート層数 2 では危険であることが分かった。有限要素解析の結果、コンクリート下面の中央部がクラック、端部が圧縮降伏をして危険であるという結果となり、一致した。サポート層数 4 に関しても、コンクリートの応力状態を考慮した結果、略算と有限要素解析結果は一致した。

さらに精度を上げるためには、実構造物による実験結果と比較することが有効であり、今後実験による検証が必要であると考えられる。

参考文献

- 1) 道正泰弘, 成川匡文, 菊池雅史, 増田彰, 大島豊, 江口清, 中込昭, 寺西浩司: 建築構造物の解体に伴い発生するコンクリート塊のリサイクルシステム: 再生粗骨材現場投入方式による再生コンクリートの製造, 日本建築学会技術報告集, 第 9 号, pp.13-18, 1999.12
- 2) 瀬古繁喜, 柳橋邦生, 三枝大介, 小早川泉, 道前大三, 田畑大蔵: 解体ガラ微粉末と建設発生土を使用したコンクリートの調合に関する実験的検討, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (九州), pp.209-210, 2007.8
- 3) 山崎康雄, 佐々木文夫, 高野真一郎, 野口清美: 建築物基礎解体工事に伴う環境地盤振動の影響に関する基礎的研究—上下加振力による水平振動の居住性能の検討—, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.409-410, 2008.9
- 4) 杜宇, 瀧澤重志, 河村廣, 谷明勲: リカレント建築物解体最適化支援システムの構築, 日本建築学会近畿支部研究報告集, pp.133-136, 2002.5
- 5) 尾崎哲生, 藤川昌樹: 戦後モダニズム公共建築における保存・取り壊しの判断過程に関する研究, 日本建築学会大会学術講演梗概集 (中国), pp.751-752, 2008.9
- 6) 笠井芳夫, 山田徹, 周建東: 階上解体における安全な解体工法 (案), 社会法人 全国解体工事業団体連合会, p.72, 2006
- 7) 河合榮作, 中平和人: 解体建物における床サポート本数の合理化の提案, 日本建築学会技術報告書集, 第 13 巻, 第 25 号, pp.39-42, 2007.6
- 8) 濱田大地, 中田善久, 大木崇輔, 中山優, 笠井芳夫, 越川茂雄: 鉄骨造における安全なパイプサポートの設置方法のフロー提案, 日本建築学会関東支部研究報告集 1, 材料・施工・構造・防火・環境工学 (79), pp.57-60, 2009.3
- 9) 建設業労働災害防止協会編: 鉄筋コンクリート造構造物解体工事の安全作業手順, 2003
- 10) 解体工法研究会編: 解体工法と積算, pp.49-171, 1995



解体対象 RC 造の解体耐力調査方法の検討

コンクリート構造物の維持保全に供する 非破壊試験・微破壊試験の現状

— 強度, 劣化, 含水状態の観点から —

特集「非破壊検査による
コンクリート構造物の診断技術」より

日本大学 生産工学部 建築工学科 教授・博士(工学)

湯浅 昇

コンクリート構造物の維持保全に供する 非破壊試験・微破壊試験の現状

— 強度, 劣化, 含水状態の観点から —

湯浅 昇

1 はじめに

地球環境という切迫化した問題から、日本もスクラップ&ビルドという姿勢は終わらせざるを得ず、遅ればせながら、長寿命化・資源循環型社会の構築に真剣に向かいはじめたといえよう。スクラップ&ビルドの時代では、さほど重要視されなかった「維持保全」が、長寿命化・資源循環型社会の構築では、極めて重要な意味を持つわけであるが、その中においてひときわ要となるのが「診断」であろう。

実験室で試験体を試験する場合と異なり、構造体コンクリートの品質を評価し、構造物の耐久性ならびに劣化度を診断するには、いかに調査目的に合致した試験データを多量に、そして簡易に入手するかが重要である。構造体コンクリートから採取したコンクリートコアや、はつりによって得られた試料の試験結果は、信頼性が高いものの、小規模ではあるが破壊試験であるため、構造耐力上の問題があるばかりでなく、大掛りな作業や補修を伴い、それがさらに高価な費用負担につながることから、多数のデータを得ることはできず、点としての情報を得るにすぎないことが多い。これらは、非破壊試験、僅かな破壊を許容する微破壊試験によれば解決

が可能である。

しかしながら、精度の良さを第一に考えて、破壊試験に頼らざるを得ないことも多いのも実態である。

ここでは、強度, 劣化, 含水状態別に、既存鉄筋コンクリート構造物に適用可能な試験方法を¹⁾を紹介し、その現状を解説するものである。

2 強度試験方法

構造体コンクリートの強度を試験する方法には、①構造体から採取したコンクリートの直接強度試験による方法②構造体コンクリートの表面硬度より推定する方法③構造体コンクリートの貫入抵抗より推定する方法④構造体コンクリートの切削抵抗より推定する方法⑤構造体コンクリートの局部破壊試験により類推する方法⑥構造体コンクリートから採取したコンクリート塊の細孔構造により分析する方法⑦構造体コンクリートの音響特性より推定する方法⑧構造体コンクリートの温度管理による方法——に大別できる。表-1は、このうち既存構造物に適用が可能と思われる各種強度試験方法の種類と特徴を示したものである²⁾。

採取コアによる直接載荷試験 (JIS法)

JIS A 1107およびJIS A 1108で規定された骨

表-1 構造体コンクリートの強度に関する試験方法の種類と特徴(湯浅)

試験方法の種類		測定概要	長 所	短 所	備 考
採取コンクリートによる直接試験	JIS法	コアを切り出し、コアを直接強度試験に供する	直接強度を評価できる方法である	<ul style="list-style-type: none"> 柱・梁にはほとんどの場合適用できない 直径の2倍の高さでコアを入手できないことがほとんどであり、補正を要する 切断した骨材とペーストとの付着破壊が懸念される 	<ul style="list-style-type: none"> JIS A 1107, JIS A 1108で規格されている 多くの場合、φ100mmコアが使われる 測定された値は最も信頼性が高く、評価できるものとして扱われることが多い
	小径コア法	JISに適用外の小径コアを切り出し、コアを直接強度試験に供する	<ul style="list-style-type: none"> 直接強度を評価できる方法である 柱・梁に適用できる 直径の2倍の高さが確保されやすい 目的に応じて、コンクリートの表層部と内部を分けて評価できる 採取及び採取後の補修がJIS法に比し容易である 現場持ち込み可能な低荷重装置により現場で強度の評価が可能な方法である 	<ul style="list-style-type: none"> 切断した骨材とペーストとの付着破壊がJIS法に比べても更に懸念される 直径10cm高さ20cmの円柱供試体を基準と考えると小径であることの寸法効果が懸念される 試験体が表層部のものなのか内部のものなのか混同せず、またそれを明示する必要がある 	<ul style="list-style-type: none"> 2007年日本建築学会によりCTM-14「コンクリートからの小径コアの採取方法及び小径コア供試体を用いた圧縮強度試験方法(案)」が提案された
表面硬度法	反発硬度法	コンクリート表面を打撃し、反発硬度を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 測定が簡便 被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリート表面近傍のみの性状が反映する 15×15cm程度の測定面が必要なため仕上を取り除き、面を平滑にする必要がある 圧縮強度への推定には多くの影響要因を補正する必要があり、関係式も多く、試験方法として確立できていない 	<ul style="list-style-type: none"> 最も普及している非破壊試験方法であり、JIS A1155として規格された。ただし、ハンマー、強度を推定する方法は規格外である 実務者、研究者の間では、竣工検査レベルでの強度推定にはある程度期待できるが、年月を経過した構造物では推定は困難であるとの評価がある
	引っかけ傷法	引っかけ試験器もしくは釘により、所定の荷重でコンクリート表面を引っかけ、その時の傷幅をクラックスケールで測定する	<ul style="list-style-type: none"> 測定が簡便 被測定物の形状・寸法に関係なく適用できる 僅かである引っかけ傷が残るのを許容できる場合、非破壊試験と位置付けられる 脱型前のコンクリートを供すれば強度発現が評価できる 内部のコンクリートとは相違することを前提に任意の時に表層劣化度を評価できる 	<ul style="list-style-type: none"> 表面強度、表層劣化を評価するための方法であり、脱型前などはコンクリート強度発現を推定することも可能であるが、脱型後の乾燥の影響や劣化などを受けた場合、内部の強度までを推定できるものではない 高い強度(30N/mm²以上)域での推定は困難である 	<ul style="list-style-type: none"> 日本建築工学会が床スラブの強度に関わる試験器として開発し、日大が構造体コンクリートの強度発現及び表層強度試験方法として整理した。構造体コンクリートに直接引っかけ方法と円柱供試体に適用できる方法がある 三重大・名大では、荷重を考慮できる試験者により釘を用いて、極めて簡便に、多くのコンクリートを短時間で評価する試験方法として提案している 名城大では、コア側面に引っかけ試験器を適用させ、コアの採取時におおよその強度評価が可能であり、有効であると報告している
切削抵抗法	ドリル法	一定の力で押しつけたドリルの削孔速度、もしくは低速載荷による反力や削孔エネルギーを測定する	<ul style="list-style-type: none"> 試験及び試験後の補修が極めて容易である 深さ方向の強度分布を推定できる ドリル削孔時にリアルタイムで評価が可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ビットの形状、切れ味の影響が大きい 骨材の影響が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> φ18mmのドリル刃を用いており、更に精度向上が必要であるが、構造体コンクリートへの適用可能性を示している
細孔構造法	吸水法	吸水法によりコンクリートの単位ペースト当たりの細孔量を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 形状によらず、コンクリートから採取した小塊もしくはコアを適用できる 切断可能な局部ごとに評価が可能である 安価な一般化学器具及び試薬で測定が可能である 	<ul style="list-style-type: none"> 試料の作製、測定に時間と手間を要する 有効細孔量以外の指標を考慮に入れない分、北大提案の水銀圧入法に比し推定精度には限界がある 	<ul style="list-style-type: none"> 水銀圧入法(日大法)をもとに測定方法を簡便にしたもの

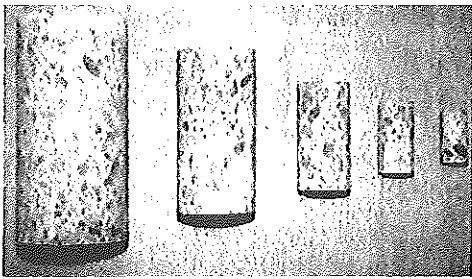


写真-1 小径コア (左からφ100, 75, 50, 33, 25mmコア)

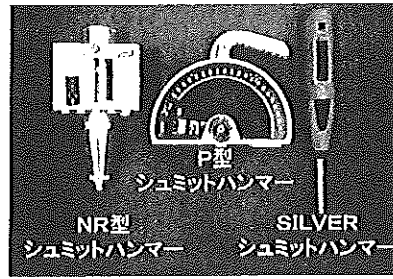


写真-2 各種リバウンドハンマー (NR型, P型, SILVER シュミットハンマー)

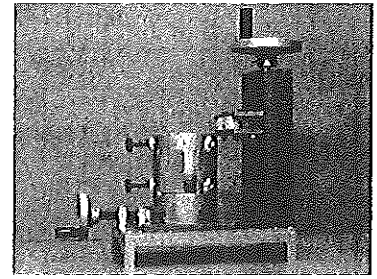


写真-3 コア側面に適用する引っかかり試験装置

材の最大粒径の3倍以上の直径のコアを構造体から切り取り直接載荷する方法は、広く普及し最も信頼のおかれた方法である。

採取コアによる直接載荷試験(小径コア法)⁹⁾

JIS法に対し、小径コア(写真-1)による方法は、直径25~50mmの小径コアを構造体から切り取り直接載荷する方法である。微破壊試験の持つ利点に加え、これまでJIS法では困難であった帯筋・あばら筋間隔の狭い柱・梁への適用を可能とし、高さ補正・鉄筋補正を回避できる長所をもつ。試験体が小さいので、構造体コンクリートの表層から深さ方向に層に分けて強度を評価できる反面、図-1で示されるような構造体コンクリートの品質の不均質性⁹⁾を理解せず、直径の2倍が得られるからといって、表層部のみを採取し試験体とした場合、本質的な意味で、それが構造体コンクリートの強度を評価できているかという疑問が残る。結果とともに試験体の採取情報の併記が必要な方法である。

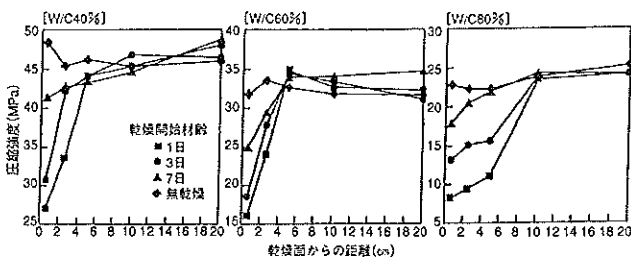


図-1 圧縮強度分布⁹⁾

リバウンドハンマー法⁹⁾

リバウンドハンマー(写真-2)によりコンクリート表面の反発度を求め、その反発度に基づいてコンクリートの圧縮強度を推定する方法である。反発度の測定は、熟練を要することなく容易に非破壊で行えることから、初期材齢における強度管理、既存構造体コンクリートの各種診断および調査手法として広く採用されている。2003年、コンクリートの反発度の測定に関しては、JIS A 1155「コンクリートの反発度測定方法」としてJIS制定されたが、反発度の測定結果から強度を推定する方法については、規格外となっている。

反発度と圧縮強度の関係は、研究者・試験条件によって異なっている。圧縮強度を推定するまでには、多くの未解決な課題が残っており、正確な強度推定に至るまでには、結局のところ、多くの時間と手間がかかる手法である。

2005年3月、日本建築学会関東支部で開催されたパネルディスカッション「リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か」での議論に

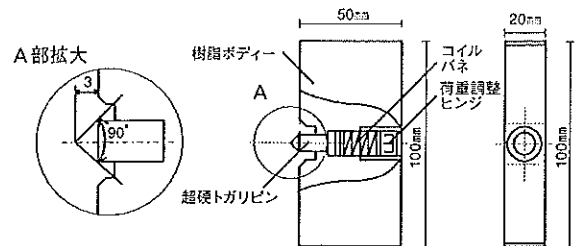


図-2 引っかかり試験器⁹⁾

非破壊検査による診断技術

表一 2 RC構造物の中性化及び塩害による劣化度評価試験方法の種類と特徴(湯浅)

試験方法の種類	測定概要	長 所	短 所	備 考
中性化深さ	直接法	<ul style="list-style-type: none"> ● 中性化深さのみならず、かぶり厚の測定、鉄筋の腐食状況の観察が可能であり、総合的に劣化の評価が可能である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 小規模であるが破壊を伴い、補修工事が必要である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 強度試験用コアを併用する他、中性化試験専用50~75mmのコアを採取する場合がある。この場合、鉄筋の交差位置でコアをボーリングし、同時にかぶり厚、鉄筋の腐食状況を観察する
	ドリル法	<ul style="list-style-type: none"> ● 短時間で結果が得られる ● 直径10mmのドリル刃を用いて行うため極めて損傷が小さく、多くの箇所測定が可能となる方法である ● 一般的な工具(ハンマードリル、ノギス)、薬品(フェノールフタレイン、エタノール、濾紙)で行うことができる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 削孔粉の呈色とドリルの停止とのタイムラグにより、中性化深さが若干大きめに評価される可能性がある。ただし、これは安全側の評価である ● 骨材のみを貫通して削孔する可能性を否定できないので、1箇所の評価は複数の削孔で行う方がよい 	<ul style="list-style-type: none"> ● もととは日大が開発、提案した方法であるが、NDIS 3419(ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化深さ試験方法)として、日本非破壊検査協会の規格となっている
塩化物イオン量	コア法	<ul style="list-style-type: none"> ● 精度が高く、標準的な方法と評価されている 	<ul style="list-style-type: none"> ● 分析のみならず、試料を粉砕する分析前処理にも手間がかかる方法である ● 結果を得るまでに費用がかかる 	<ul style="list-style-type: none"> ● JIS A 1154による方法の他に、コアを表面から垂直な方向に切断した面に対して、EPMA、近赤外分光法を用いて分析する方法があり、これらの精度は高い。また、精度は著しく劣るが、同切断面もしくは割裂面に硝酸銀を噴霧する方法が検討されており、おおざっぱに状態・傾向をつかむ試験と位置づけられる
	ドリル法	<ul style="list-style-type: none"> ● 現場で、一般的な工具(ハンマードリル、ノギス、カバー)で、粉砕した分析試料を得ることができる ● 数センチのドリル刃を用いて行うため極めて損傷が小さく、多くの箇所測定が可能となる方法である 	<ul style="list-style-type: none"> ● ドリル刃は、骨材を選びセメントペースト部分をより削るため、測定される塩化物イオン量は大きい傾向にある 	<ul style="list-style-type: none"> ● 粉砕試料が飛散しないようカバーで覆いながら削孔することがポイントとなる ● もともと日大が開発・提案した方法であるが、CTM-17「硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法(案)」として、日本建築学会が規格化を図っている ● 日大は、さらに現地で簡易に分析し、即時に結果を得る方法も提案している
かぶり厚	直接法	<ul style="list-style-type: none"> ● 確実な方法である ● 鉄筋の腐食状況を同時に観察できる 	<ul style="list-style-type: none"> ● 破壊を伴い、補修工事が必要である ● 構造物全体に対し、点における測定に限定される 	<ul style="list-style-type: none"> ● 主に非破壊試験において測定する場合も、その測定値を検証する意味で直接法を併用する方がよい
	電磁波レーダ法	<ul style="list-style-type: none"> ● 非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い ● 全数検査が可能な方法である 	<ul style="list-style-type: none"> ● コンクリートの誘電率(主に水分)により推定結果が異なる。直接法を併用し誘電率を検証するとよい ● ジャンカなど空洞の影響を受ける 	<ul style="list-style-type: none"> ● JSTM-III B5707(電磁波レーダ法によるコンクリート中の鉄筋位置の測定方法(案))として、日本建材・住宅設備産業協会が規格化されている
	電磁誘導法	<ul style="list-style-type: none"> ● 空隙や仕上材等があっても推定が可能である ● 非破壊で行うことができ、測定にかかる時間が短い ● 全数検査が可能な方法である ● 原理的に、電磁波レーダ法に比し、より鉄筋径推定な方法である 	<ul style="list-style-type: none"> ● 電磁波レーダ法に比し、探査可能な深さが浅い(20cm以下) ● コンクリート中の鉄分に影響を受ける。直接法を併用し結果を検証するとよい 	<ul style="list-style-type: none"> ● JSTM-III B5708(電磁誘導法によるコンクリート中の鉄筋位置・径の測定方法(案))として、日本建材・住宅設備産業協会が規格化されている

試験方法の種類	測定概要	長 所	短 所	備 考	
鉄筋腐食度	目視法	鉄筋の位置に沿った錆汁の有無、かぶりコンクリートの浮き・剥落の有無を観察する	<ul style="list-style-type: none"> 錆汁、浮き・剥落の存在は、有害な腐食の発生・進行を示している 	<ul style="list-style-type: none"> 腐食の発生前の危険度を評価することはできない 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の腐食に関係するひびわれの状況(劣化度)について、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」の劣化度評価基準がある
	直接法	コンクリートをはつるか、鉄筋の位置でコアをボーリングし、直接鉄筋腐食状況を観察する	<ul style="list-style-type: none"> 確実な方法である 鉄筋の腐食状況を同時に観察できる 	<ul style="list-style-type: none"> 破壊を伴い、補修工事が必要である 構造物全体に対し、点における測定に限定される 	<ul style="list-style-type: none"> 鉄筋の腐食度の判定に、日本建築学会「鉄筋コンクリート造建築物の耐久性調査・診断および補修指針(案)・同解説」の鉄筋腐食度評価基準がある
	自然電位法	露出させた鉄筋(測定対象鉄筋と電気的に導通しているもの)とリード線でつながれた電位差計を用いて、測定対象鉄筋位置の直上コンクリート面に照合電極を接触させ、自然電位を測定する。腐食が進むほど自然電位は負の方向に変化する	<ul style="list-style-type: none"> 腐食発生の有無を確率的な尺度で評価する 一部の鉄筋を露出させ、結線する必要があるが、全体として破壊の程度は小さい ASTM C876などで、自然電位による腐食性評価基準が示されている 	<ul style="list-style-type: none"> 測定の際、コンクリートを湿潤状態に保つ必要がある 測定される自然電位に及ぼすかぶりコンクリートの含水率、中性化、塩化物イオン量の影響が大きい 	<ul style="list-style-type: none"> 解析の結果、腐食の確率が高いところ、低いところで実際に鉄筋をはつり出し、検証するとよい 建築構造物よりも土木構造物での適用例が多い JSCE-E 601(コンクリート構造物における自然電位測定方法)として、土木学会により規準化されている
	分極抵抗法	一方を露出させた鉄筋(測定対象鉄筋と電気的に導通しているもの)とリード線でつなぎ、もう一方を測定対象鉄筋位置の直上コンクリート面に照合電極を接触させ、周波数の異なる交流電圧を印加する。周波数により電流経路が異なるという電気回路の特性により腐食反応抵抗を求める	<ul style="list-style-type: none"> 腐食の速度を定量的に推測できる 一部の鉄筋を露出させ、結線する必要があるが、全体として破壊の程度は小さい 	<ul style="list-style-type: none"> 測定方法や評価基準は研究段階で、定まっていない かぶりコンクリートが非常に乾燥している場合、コンクリート表面が水で覆われている場合、コンクリートもしくは鉄筋が絶縁体で覆われている場合、適用できない。また、適用可能な場合も含水率の影響を受ける 	<ul style="list-style-type: none"> 標準化や規格化されていないため、それぞれの装置や手順によって、精度や信頼性に大きなバラツキがある。実際にはつり出し、鉄筋の腐食状況を目視で確認し、検証する姿勢が必要である

よれば、結論は、情報の多い新設ならともかく、竣工後数年経過したコンクリートの強度推定は、相当数のコアによる破壊試験と反発度と対応があること、工学的に議論・検証のできる技術者の検証があつて、はじめてなんとかおおよその範囲で可能であり、ただ反発度を測るだけでは無理だということであつた。反発度は、深さ1~2cmまでのコンクリートの品質を反映したものであると考える研究者が多い。また、仕上げ材を取り除く必要がある場合、決して非破壊試験とは言えず、壁などの大がかりな修復を伴うことが多い。

引っかき傷法⁹⁾

図-2に示す試験器により、所定のピンをコンクリート表面に所定の荷重で押しつけながら引っかき、その傷幅からコンクリートの強度を

推定するものである。強度推定に際しては、測定した傷幅をあらかじめ求めておいた傷幅と圧縮強度の関係に対応させる。

コンクリート表面に対して、「表面強度」、「表層劣化」を評価するための方法であり、脱型前などはコンクリート強度発現を推定することも可能であるが、脱型後の乾燥の影響や劣化などを受けた場合、内部の強度までを推定できるものではない。適用上、留意しなければならない。

また、写真-3のような装置を使い、コンクリートコア側面(中央部)に対して、この試験方法を適用する場合、コア採取時におおよその強度を評価することが可能である⁹⁾。

有効吸水量法¹⁰⁾

コアもしくは小塊から測定しようとする部分

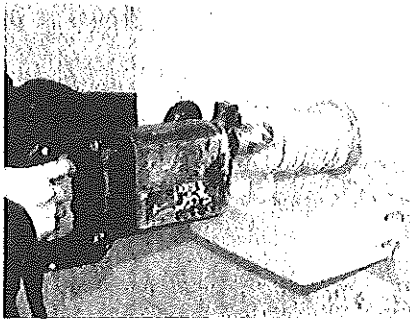


写真-4 ドリルによるコンクリート粉末の採取¹²⁾

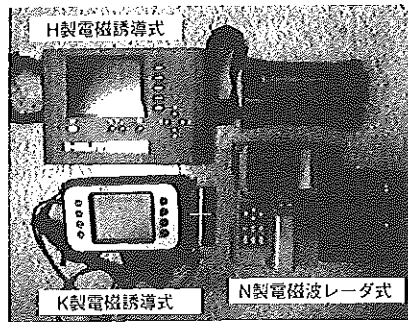


写真-5 鉄筋探査機

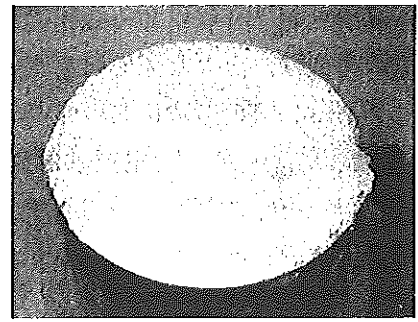


写真-6 乾燥度試験紙による水分蒸発速度測定

のコンクリート片を採取し、2.5mm～5.0mm程度の試料寸法を調整の上、アセトン処理により水和を停止させ、D-dry乾燥させ測定用試料とする。この試料について、吸水量を測定し、強度を推定する方法である。試料中のセメントペーストあたりの吸水量（有効吸水量）という指標から強度を推定する。

③ 劣化度評価試験方法

中性化深さと塩化物イオン量の試験

表-2は、RC構造物の中性化および塩害による劣化度評価試験方法の種類と特徴を示したものである。

これまで、中性化深さは、採取コアの側面に、1%フェノールフタレインアルコール溶液を散布し、中性化深さを求めてきた。また、塩化物浸透量は、採取コアを深さ方向に層別し、粉碎・化学分析してきた。これらは、コアの小径化という意味で微破壊試験に移行され得る。

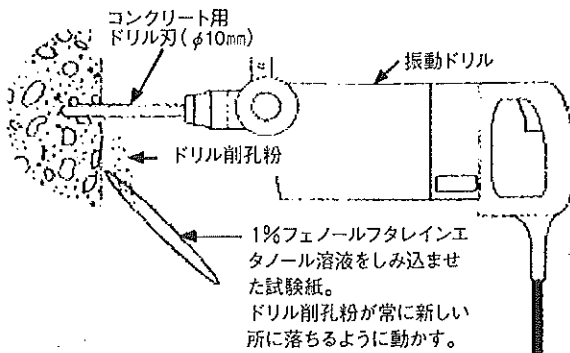


図-3 ドリル削孔粉による中性化深さ試験¹¹⁾

しかしながら小径とはいえ、コンクリートコアを得るためには、排水処理を必要とする破壊試験となるため、試験箇所が限定され、試験に要する費用も少なくない。

笠井・湯浅らは、φ10mmのドリルの削孔粉を用いて中性化深さを試験する方法（図-3）を検討し、その有効性を確認した¹¹⁾。その成果に基づき、1999年、社団法人日本非破壊検査協会より、NDIS 3419「ドリル削孔粉を用いたコンクリート構造物の中性化試験方法」が制定された。この方法によって測定された中性化深さは、コンクリートコアを用いる方法による深さとほぼ等しく、破壊程度、作業量、補修量の面で大幅な改善が期待できる方法である。

また、笠井・湯浅らは、写真-4の示すように、φ10mmのドリル削孔粉をコンクリート表面から深さ方向に層別に全量採取する方法を確立し、ドリル削孔粉を用いた塩化物イオン量の測定方法を提案した¹²⁾。粉碎試料を得やすいことも利点である。この方法は、その後、日本建築学会により、CTM-17「硬化コンクリート中の塩化物イオン量の簡易試験方法(案)」として採用されている。

配筋検査方法

中性化深さや塩化物イオン量がわかっただけでは、それらの劣化形態である「鉄筋腐食」の程度もしくは腐食開始までの余時間がわかるわけではない。それには、鉄筋のかぶり厚の把握が重要となる。

腐食可能性を検討する意味において、かぶり厚の把握は、点としてではなく、全量把握が理想である。その意味において、非破壊試験である電磁波レーダ法、電磁誘導法が有効である(写真-5)。ただし、かぶり厚に関しては、電磁誘導法の精度がより高いようである。

鉄筋腐食評価方法

鉄筋腐食を評価する微破壊試験として、自然電位測定法、分極抵抗測定法があり、前者は腐食発生の有無を確率的尺度で、後者は腐食速度を定量的に評価するものである。両者とも対象鉄筋と電氣的に導通している鉄筋をハツリだし測定器と結線する必要がある。

4 含水率試験方法

硬化コンクリートの含水率を測定する方法は、これまでに多くの研究者によって研究開発が進められており、日本でも多くの方法が開発されてきた。測定原理から、①水分を電氣的に測定する方法②湿度および結露水を測定する方法③水による中性子の減水を利用する方法——などに大別される。これらの中でも①の電氣的方法の中で、埋め込み電極を用いる方法¹³⁾¹⁴⁾は、最も多くの研究者によって適用され、他に比べると高い精度で含水率を測定できると評価されている。

しかしながら、含水率測定は研究者が研究用に扱う場合を除くと、施工現場で、塗り床、張り床などの施工可否の判断などのために実施したいと考える技術者が多く、その場合は、多少精度が落ちてでも簡便で安価で測定できることが望まれる¹⁵⁾。誰でも容易に採用できる方法を採用した市販品として、押し当て式電極(静電容量・電氣抵抗)、挿入型の電氣抵抗式電極¹⁶⁾、乾燥度試験紙¹⁷⁾による方法などがある。現場での使用実績は無視できないが、使用者が原理やキャリブレーションのあり方、開発思想などを考えずに行うと、表示された値を鵜呑みにした

議論が展開され、数値の1人歩きと批判される状況を作っている。

表-3は、構造物の建設中および経年後の試験で適用可能なコンクリートの含水状態に関する試験方法の種類と特徴を示したものである¹⁸⁾。

押し当て式電極による方法¹⁸⁾

本体と検出部を一体化したハンディタイプのものが市販されている。測定対象に電極をコンクリートに押し当て静電容量を計る(電氣抵抗を計るものもある)もので、含水状態を直接デジタル表示するものである。さらには含水率が直読できるようになっており、極めて測定が簡便なので、建設現場で多くの実績がある。しかしながら、原理的にはどこかの深さにどのような強さで電流が流れているかがわからないことから、測定された静電容量が持つ意味は一様ではない。市販品における、目安のために表示された含水率は、工学的な値とは言い難い。

挿入式電極による方法^{16) 18)}

市販品として、コンクリートに6mmの平行な2つの小径を削孔し、孔に棒状の電極を挿入し、電極間の電氣抵抗を測定するものである。原理は明解であり、工学的に含水率を測定できる方法として、押し当て式電極よりも使用上、開発に期待ができる。市販品とするため、押し当て式同様、含水率が直読できるようになっているが、普遍的な値を示すものでない。

乾燥度試験紙による方法^{17) 18)}

筆者らが市販されている乾燥度試験紙を用いたコンクリートの含水状態(水分蒸発速度)測定方法として研究・提案したものである。水分の存在により青色から赤色に変色する乾燥度試験紙(12mm×40mm)を透明なテープ(50mm×100mm)の中央に試験紙を貼り付け、吸湿量に応じて青色から赤色に変色する乾燥度試験紙をコンクリート表面に貼り付けた後、10分経過後の変化した色を標準変色表と比較して、青色か

非破壊検査による診断技術

表一三 構造物の建設中および経年後の試験で適用可能なコンクリートの含水状態に関する試験方法の種類と特徴(湯浅)

試験方法の種類		測定概要	長 所	短 所	備 考	
電気的方法	埋め込み式	センサをコンクリート中に埋め込み、コンクリートもしくはコンクリートの含水状態に平衡な状態にあるセラミックの電気抵抗を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 精度が良好である 深さ方向の分布がとれる 同じ位置で経時変化をとらえることができる 	<ul style="list-style-type: none"> 予めセンサを実構造物のコンクリート打設の際、埋め込む必要があり、センサの埋め込み作業、線の引き直し作業等に工夫と時間が必要である コンクリートから引き出された線の切断の痕が残り、補修が必要である 	<ul style="list-style-type: none"> 北大、大林組、名工大・中部大、日大(セラミックセンサ 1990年～)におけるセンサが対応する 最近日本大学では、建設現場で測定が可能な測定方法を提案した。また、自動スキャンモニタリングシステムを提案を提案した¹⁹⁾ 研究用の範囲を出していない 	
	挿入式	ドリルでコンクリートに2つの孔を平行に削孔し、一対となる電極を挿入し、電極間のコンクリートの電気抵抗を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 精度が良好である 深さ方向の分布がとれる 予めセンサを埋め込む必要がない 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートにあけた孔を補修する必要がある 一度あけた孔のみで経時変化を測定できない 	<ul style="list-style-type: none"> Kett HI-800, PM-100i (挿入型プローブ)等の市販品があるが、これらを利用するときには、デジタル表示された含水率は単なる尺度でしかなく、真値については実験が必要である 研究用の範囲をでていない 	
	押し当て式	電気抵抗法	コンクリート表面に電極を押し当て、電気抵抗を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 測定が極めて簡便 非破壊で行うことができる 同じ位置で経時変化をとらえることができる 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートのどこにどのように電流が流れているかわからないので、原理にそぐわない方法である 深さ方向の分布がとれない 	<ul style="list-style-type: none"> Millardの研究があり、Protimeter, PM-100i(押し当てプローブ)等の市販品があるが、これらを利用するときには、原理的でないこと、デジタル表示された含水率は単なる尺度でしかないことに注意が必要である
		静電容量式	コンクリート表面に電極を押し当て、高周波静電容量を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 測定が極めて簡便 非破壊で行うことができる 同じ位置で経時変化をとらえることができる 日本では市販品が普及し、多くの実測データがある 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートのどこにどのように電流が流れているかわからないので、原理にそぐわない方法である 深さ方向の分布がとれない 	<ul style="list-style-type: none"> Kett HI-520等の市販品があるが、これらを利用するときには、原理的でないこと、デジタル表示された含水率は単なる尺度でしかないことに注意が必要である Kett HI-520(および500)は、日本床施工研究協議会の「コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレード」で採用されている測定機器である。ただし、測定方法については同協会にて規定している
湿度(結露)による方法	貼りものによる方法	不透湿シートによる方法	<ul style="list-style-type: none"> 不透湿シートによりコンクリート表面を覆い、周囲をガムテープ等でシールし、翌日シート内面に結露が生じた場合、一般的に仕上材の施工は時期尚早と判断する 	<ul style="list-style-type: none"> 前準備が不要で、極めて簡易で、安価に行える 非破壊で行うことができる 防水施工可否の判断方法として実績がある 	<ul style="list-style-type: none"> 含水状態を細かく把握することはできない 	<ul style="list-style-type: none"> 経験的な方法であるが、極めて有用な方法である
		乾燥度試験紙による方法	<ul style="list-style-type: none"> 乾燥度試験紙を一定時間貼り付け色の変化により水分蒸発速度を評価する 	<ul style="list-style-type: none"> 前準備が不要で、極めて簡易で、安価に行える 非破壊で行うことができる 	<ul style="list-style-type: none"> 内部の含水状態を把握することはできない 	<ul style="list-style-type: none"> 日大の研究が対応する 日本床施工研究協議会の「コンクリート床下地表層部の諸品質の測定方法、グレード」で採用されている測定方法である 最近日本大学は、より容易で客観的な評価を可能とすることを目的に、改良型乾燥度試験紙を提案した
	小孔湿度による方法	湿度センサ法	コンクリートに孔をあけ、湿度センサを挿入し湿度を測定する	<ul style="list-style-type: none"> 精度が良好である 深さ方向の分布がとれる 予めセンサを埋め込む必要がない 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートにあけた孔を補修する必要がある 一度あけた孔のみで経時変化を測定できない 	<ul style="list-style-type: none"> 東工大・東海大(椎名)の研究が対応する
		発色紙による方法	コンクリートに孔をあけ、発色紙を挿入しその変色から含水状態を評価する	<ul style="list-style-type: none"> 前準備が不要で、極めて簡易で、安価に行える 	<ul style="list-style-type: none"> 内部の含水状態を把握することはできない 現時点では評価軸が定まっていない 	<ul style="list-style-type: none"> 戸田建設の研究が対応する

ら赤色の変色の程度に基づき含水状態を客観的に評価する(写真-6)。

5 おわりに

本稿は、読者の多くが防水関係者であることを念頭に置きながらも、鉄筋コンクリート建築物の維持保全全般に係わる非破壊試験・微破壊試験を紹介・解説した。

さらなる試験方法の開発・発展の重要性もさることながら、使用者の既存の試験方法に対する理解が極めて重要である。

私の思うところ、建築物の長寿命化の流れは、単なる「防水」から「建築物の保護」への展開に繋がり、防水業界の動向として、建物の劣化との関わりが増すだろう。今後、私は、コンクリート研究者として、仕上材の「RC造保護機能」に最大の関心をもって研究展開を図っていくつもりである。皆さんにもRC造の劣化のメカニズムを理解いただき、RC造維持保全全般の中で「防水」、「仕上材」、およびその施工、その劣化を考えていただきたいと思っている。

(日本非破壊検査協会 鉄筋コンクリート構造物
の非破壊試験部門 幹事)

[参考文献]

- 湯浅昇:鉄筋コンクリート構造物の耐久性診断方法, 日本コンクリート工学協会, コンクリート工学, Vol.46, No.1, pp.23-30, 2008.1
- 谷川恭雄・魚本健人・湯浅昇・山田和夫・込山貴仁・永山勝・濱崎仁:コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法, セメントジャーナル社, p.19-47, 2006.12
- 若林信太郎・谷川恭雄・中込昭・佐原晴也・寺田謙一:小径コアによる構造体コンクリート強度の推定に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.555, pp.1-8, 2002.3およびNo.556, pp.9-16, 2002.11
- 国本正恵・湯浅昇・笠井芳夫・松井勇:小径コアを用いたコンクリートの圧縮強度試験方法の検討, 日本コンクリート工学協会, コンクリート工学年次論文報告集, 第22巻, 第1号, pp.427-432, 2000.6
- 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇:構造体コンクリートの表面から内部にいたる圧縮強度分布, セメント協会セメント・コンクリート論文集, No.51, pp.840-845, 1997.12
- 湯浅昇:コンクリート強度測定におけるリバウンドハンマーの位置づけ, 工文社, 建築仕上技術, Vol.32, No.383, pp.40-49, 2007.6
- 湯浅昇:リバウンドハンマーによる強度推定に関する話題提供-各種リバウンドハンマーの相互比較, リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度との関係を求める方法の提案-日本コンクリート工学協会, コンクリート工学, Vol.48, No.12, pp.23-30, 2010.12
- 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, 篠崎幸代:引っかけ傷によるコンクリートの圧縮強度試験方法の提案, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物の非破壊検査への期待」論文集(Vol.1), pp.115-122, 2003.8
- 西川奈津子, 山根政夫, 谷川恭雄, 鈴木計夫, 各種非破壊試験法による低強度コンクリートの強度推定方法に関する研究(その2引っかけ傷法), 日本建築学会大会学術講演概要集A-1, pp.241-242, 2007.8
- 佐々木隆・湯浅昇・笠井芳夫・松井勇:有効吸水量, 総有効細孔量に基づく硬化コンクリートの水セメント比, 圧縮強度の推定方法, 日本非破壊検査協会, シンポジウム「コンクリート構造物への非破壊検査の展開」論文集(Vol.2), pp.49-54, 2006.8
- 笠井芳夫・湯浅昇:コンクリートの中酸化とその簡易な試験方法の提案, 非破壊検査協会, 非破壊検査, Vol.47, No.9, pp.643-648, 1998.9
- 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇, ドリル削孔粉を用いたコンクリート中の塩化物イオン量の現場試験方法の提案, 日本コンクリート工学協会, コンクリート工学年次論文報告集, 第21巻, 第2号, pp.1303-1308, 1999.7
- 鎌田英治, 田畑雅幸, 中野陽一郎:コンクリート内部の含水量の測定, セメント技術年報1976, pp.288-292, 1976
- 湯浅昇, 笠井芳夫, 松井勇:埋め込みセラミックセンサの電気的特性によるコンクリートの含水率測定方法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 第498号, pp.13-20, 1997
- 湯浅昇, 笠井芳夫:非破壊による構造体コンクリートの水分測定方法, コンクリート工学, Vol.32, No.9, pp.49-55, 1994.9
- 沓掛文夫, 千歩修, 熊谷敏男:注入補修界面の含水率測定方法の一提案, 日本建築学会大会学術講演梗概集A, pp.313-314, 1989
- 湯浅昇・笠井芳夫・松井勇・逸見義男・佐藤弘和:乾燥度試験紙によるコンクリートの水分状態の評価, 日本建築仕上学会論文報告集, VOL.5, NO.1, pp.1-6, 1997.10
- 湯浅昇:建設現場で適用可能な含水率試験方法, 工文社, 月刊建築仕上技術, Vol.33, No.393, pp.44-496, 2008.4

リバウンドハンマーによる強度推定に関する話題提供 —各種リバウンドハンマーの相互比較, リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度との関係を求める方法の提案—

湯 浅 昇*

概 要 本報告は、リバウンドハンマーによる強度推定に関する話題を提供するものである。リバウンドハンマーの中からN型、P型シュミットハンマー、新型シュミットハンマー「シルバーシュミット」について、その測定値（反発度・反発速度比）を相互に比較検討した結果を提供し、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」では規定されていない測定値（反発度・反発速度比）と圧縮強度の関係の構築方法を提案する。

キーワード: コンクリート, 圧縮強度, リバウンドハンマー, シュミットハンマー, 反発度, 反発速度比, キャリブレーション

1. はじめに

リバウンドハンマー法は、リバウンドハンマーによりコンクリート表面の反発度を求め、その反発度に基づいてコンクリートの圧縮強度を推定する方法である。反発度が弾性係数と比例関係にあり、さらに弾性係数と圧縮強度は相関が強いことから構築された方法である。反発度の測定は、熟練を要することなく容易に非破壊で行えることから、若材齢における強度管理、既存構造体コンクリートの各種診断および調査手法として広く採用され、このような実績を踏まえて、2003年、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」が制定された。

その歴史をみると、まず打撃法が1934年頃からイギリス、ドイツ、ソ連などで検討され、1948年にはSchmidtがシュミットハンマーを考案し、世界中で広く実用されるまでに至った。日本では1952年から輸入・検討され、これまでに輸入されたシュミットハンマーは14~15万台にのぼるとみられる。2008年、これまでのN型、P型シュミットハンマーに加え、新型シュミットハンマー「シルバーシュミット」を供給し始めた。

このように、考え方がしっかりし、完成度が高く、歴史もあり、認知度も高いリバウンドハンマーであるが、反発度から圧縮強度を推定するには、多くの未解決な課題が残っており、正確な強度推定に至るまでには、結局のところ、多くの時間と手間がかかる手法といえる。

本報告は、日本で最も普及しているN型シュミットハンマー、低強度用といわれ実績のあるP型シュミットハンマーによる反発度、シルバーシュミットによる反発速度比を相互に比較・検討した結果を報告する。さら

に、竣工までのコンクリート強度管理に供することを目的とした、リバウンドハンマーの反発度・反発速度比と圧縮強度の関係を求める方法を提案する。

2. 各種シュミットハンマーの特徴

製造会社シュミット社によれば、各シュミットハンマー（写真-1）の特徴は、以下のとおりである。

(1) N (NR) 型シュミットハンマー

反発度 R （反発の高さを測定する）を測定する。圧縮強度 $10\sim70\text{ N/mm}^2$ のコンクリートに適用される最も一般的なシュミットハンマーである。NR型は、データを印字する機能をもっている。

(2) P型シュミットハンマー

反発度 R を測定する。圧縮強度 $5\sim30\text{ N/mm}^2$ のコンクリートに適用される振子式で低強度コンクリート、若材齢コンクリートの強度推定に適している。

(3) シルバーシュミットハンマー

反発の速度比（インパクトする前後の反発速度の比） Q を光学的に測定する。圧縮強度 $10\sim170\text{ N/mm}^2$ のコンクリートに適用が可能とされ、角度の影響を受けないとされる。

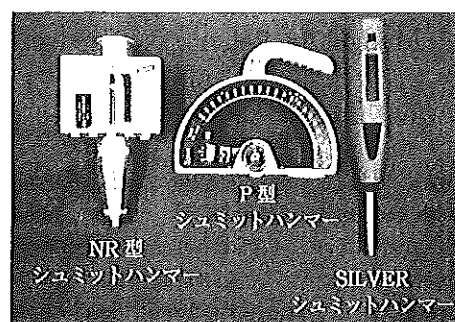


写真-1 各種リバウンドハンマー

* ゆあさ・のぼる/日本大学 生産工学部 建築工学科 准教授 (正会員)

3. 各種リバウンドハンマーの相互比較実験

3.1 実験概要

(1) コンクリート

コンクリートの材料として、T社製普通ポルトランドセメント ($\rho=3.16$)、細骨材として6割を君津産砂 ($\rho=2.58$) 4割を栃木鍋山砕砂 ($\rho=2.68$) としたもの、粗骨材として栃木鍋山砕石 ($\rho=2.68$)、AE減水剤にはP社製78S(T)を使用した。コンクリートの練り混ぜは、表-1に示す割合で行った。表-1にスランプ、空気量、圧縮強度を併記した。

(2) 試験体の作製と養生

$\phi 100 \times 200$ 、 $\phi 150 \times 300$ mmの円柱型枠、 $300 \times 300 \times 150$ mmの型枠にコンクリートを打設し、試験材齢(1, 3, 7, 14, 28日)に達するまで 20°C の恒温室で封かん養生

を行った。

(3) 反発度 R および反発速度比 Q の測定

材齢1, 3, 7, 14, 28日において、 $\phi 100 \times 200$ 、 $\phi 150 \times 300$ mmの円柱供試体、 $300 \times 300 \times 150$ mmの壁模倣供試体に、日本建築学会「コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」(昭和58年) p.17に記載の拘束圧力 25 kgf/cm^2 以上を参考に、 $\phi 100$ mm円柱供試体には 20 kN 、 $\phi 150$ mm円柱供試体には 50 kN 、 $300 \times 300 \times 150$ mm壁模倣供試体には 120 kN の軸力を加え、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」に準じて、反発度 R および反発速度比 Q を測定した。

なお、試験体およびハンマーの形状、荷重方法の都合上、P型シュミットハンマーは $\phi 100$ mm円柱供試体には適用できなかった。また、 $\phi 150$ mm円柱供試体、 $300 \times 300 \times 150$ mm壁模倣供試体に対して供試体を上下反転し、測定点を確保した。

(4) コンクリートの圧縮強度の測定

反発度 R および反発速度比 Q の測定後、 $\phi 100$ 、 $\phi 150$ mm円柱供試体について、JIS A 1108:2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、圧縮強度を測定した。

表-1 調合表

水セメント比 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	粗骨材率 (%)	単位水量 (kg/m^3)	絶対容積 (ℓ/m^3)			質量 (kg/m^3)			混和剤の使用量 (kg/m^3)	スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (N/mm^2)			
				セメント		粗骨材	セメント		粗骨材				1日	3日	7日	28日
				セメント	粗骨材	セメント	粗骨材									
57.5	20	46.3	180	99	313	363	313	820	973	3.13	20.5	4.5	4.7	12.3	20	25.2

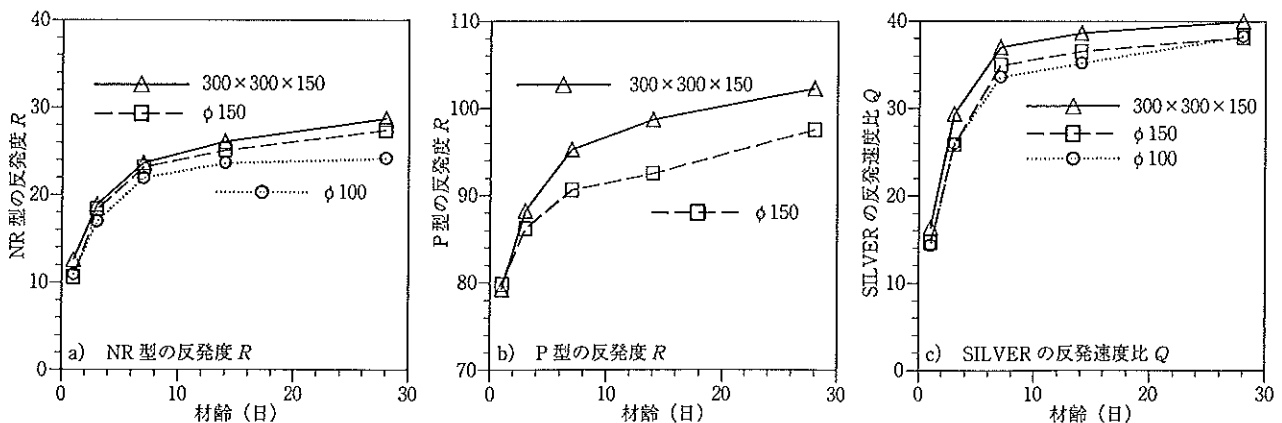


図-1 各測定値の経時変化

Topic for Concrete Strength Presumption using Rebound Hammer

— Comparison between Rebound Numbers using Various Hammers and Proposal of Requesting Method for Relationship between Rebound Numbers and Compressive Strength —

By N. Yuasa

Concrete Journal, Vol.48, No.12, pp.23~30, Dec. 2010

Synopsis This report offers the topics concerning the strength presumption using the rebound hammer. Firstly, this is deals with comparison between the rebound numbers using N-type Schmidt hammer, P-type Schmidt hammer and "Silver Schmidt" that is new Schmidt hammer produced. The requesting method for relationship between rebound number and compressive strength of concrete is not provided by JIS A 1155 "Method of measurement for rebound number on surface of concrete". So, the requesting method is discussed and proposed in this report.

Keywords : concrete, rebound hammer, schmidt hammer, rebound number, rebound speed ratio, calibration

3.2 結果および考察

(1) コンクリートの材齢経過に伴う各測定値（反発度 R ・反発速度比 Q ）およびそのばらつきの変化

図-1は、各測定値の経時変化を示したものである。シュミットハンマーによる測定値は、程度の差はあるが材齢7日までの変化が大きく、その後緩慢に増加した。

表-2は、 $300 \times 300 \times 150$ mm 壁模擬供試体で得られた各測定値の標準偏差を示したものである。図-2は、これを変動係数の経時変化として示したものである。後述する図-3から判断すると、この程度の測定値（反発度 R ・反発速度比 Q ）の標準偏差は、推定圧縮強度では1~4 N/mm^2 程度に対応する。P型シュミットハンマーの反発度の変動係数は他の測定値よりも小さいといえる。

(2) $\phi 100$ mm 圧縮強度と各測定値の関係

図-3は、 $\phi 100 \times 200$ mm 円柱供試体で得られた圧縮強度と各測定値の関係を示している。 $300 \times 300 \times 150$ mm

壁模擬供試体について、その傾向をみると、NR型、P型シュミットハンマーの反発度は、圧縮強度と直線関係があることがわかる。さらにその傾き（圧縮強度の変化に対する反発度 R の変化）は、NR型の場合よりもP型の場合の方が大きいことがわかる。 $30 N/mm^2$ 程度以下のコンクリート強度推定にはP型がNR型よりも優れているといえよう。

一方、シルバーシュミットによる反発速度比 Q は、 $20 N/mm^2$ 程度以下では、圧縮強度変化に比し変化幅が大きくP型よりも強度推定に有利といえるが、 $20 N/mm^2$ 程度以上では、反発速度比 Q が頭打ちに推移した。

表-2 各測定値の標準偏差 ($300 \times 300 \times 150$ mm)

材齢 (日)	NR型の反発度 R	P型の反発度 R	SILVERの反発速度比 Q
1	1.69	1.86	1.79
3	1.91	2.47	2.87
7	2.16	2.56	2.08
14	2.48	2.98	1.86
28	1.85	3.80	3.19

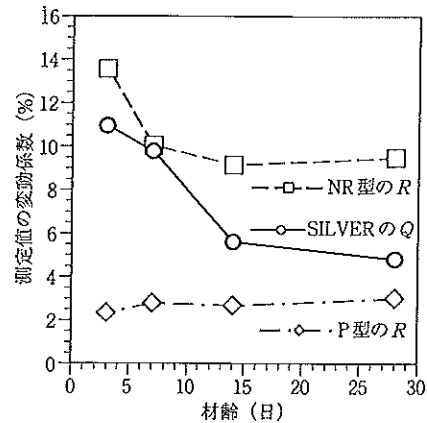


図-2 変動係数の経時変化

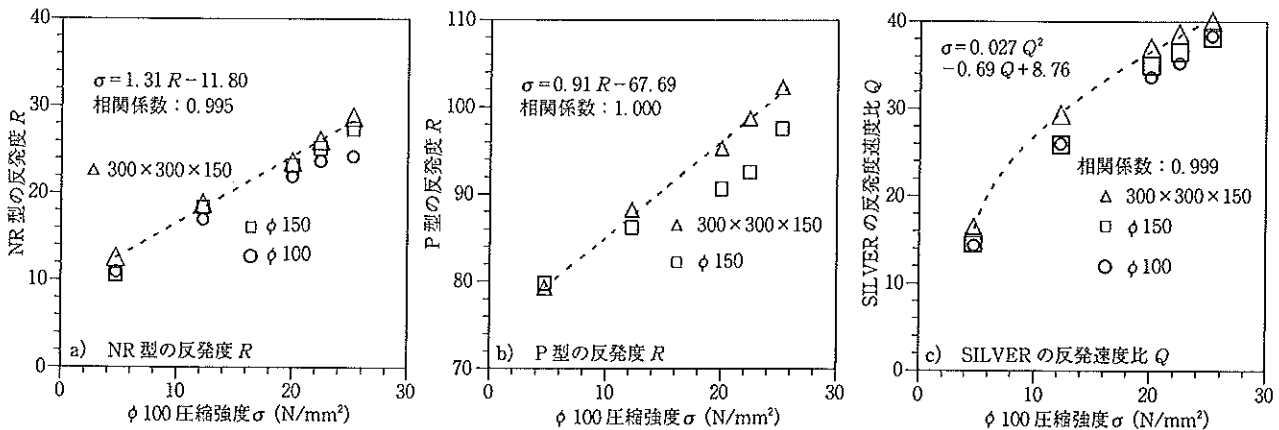


図-3 $\phi 100$ 圧縮強度と各測定値の関係

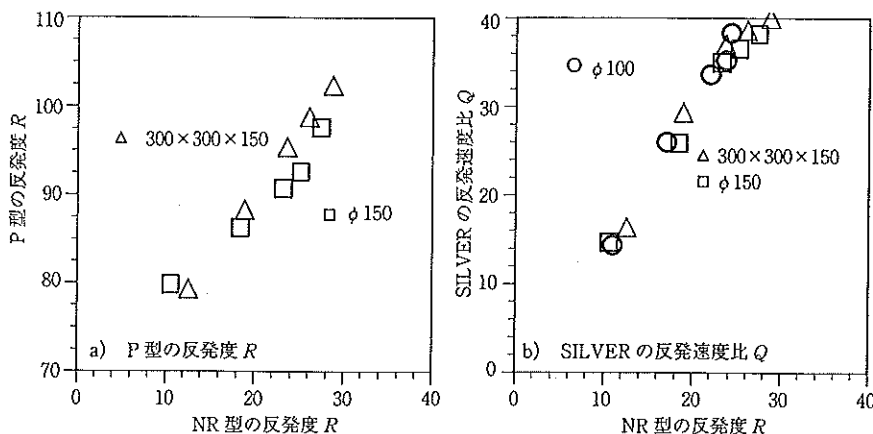


図-4 NR型シュミットハンマーの反発度 R と他の測定値との関係

(3) NR型シュミットハンマーの反発度と他の測定値との関係

図-4は、NR型シュミットハンマーの反発度とP型シュミットハンマーの反発度、シルバーシュミットの反発速度比の関係を示したものである。300×300×150 mm 壁模擬供試体について、その傾向をみると、図-3において強度との関係が直線関係であった2つの測定値間であるNR型シュミットハンマーの反発度とP型のシュミットハンマーの反発度は直線関係にあった。これに対し、NR型シュミットハンマーの反発度とシルバーシュミットの反発速度比との関係は、NR型シュミットハンマーの反発度が25以下（圧縮強度25 N/mm²程度以下）では直線関係、それ以上ではNR型シュミットハンマーの反発度の増加に対するシルバーシュミットの反発速度比の増分が小さいことがわかる。

しかしながら、直線関係にある範囲だけをみると、NR型シュミットハンマーの反発度に対する測定値の傾きは、P型の反発度、シルバーシュミットの反発速度比ともに1以上であり、NR型シュミットハンマーの反発度が25以下（圧縮強度25 N/mm²程度以下）の範囲では、NR型シュミットハンマーの反発度に比し、P型の反発度、シルバーシュミットの反発速度比の方が、圧縮強度の変化に対しその絶対値の変化が大きく、推定には有利であることがわかる。

4. リバウンドハンマーの反発度・反発速度比と圧縮強度との関係を求める方法の提案

4.1 リバウンドハンマーの反発度による強度推定の現状と提案の立場

2003年コンクリートの反発度の測定に関して、JIS A 1155「コンクリートの反発度の測定方法」が制定されたが、反発度の測定結果から強度を推定する方法については、示されていない。

反発度と圧縮強度の関係は、図-5¹⁾に示すように、研究者・試験条件によって異なっている。正確な強度推定

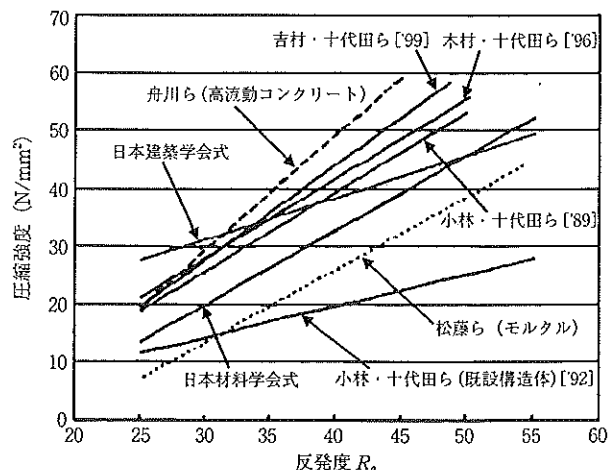


図-5 既往の反発度と圧縮強度の関係

に至るまでには、多くの時間と手間がかかる²⁾。

2005年3月、日本建築学会関東支部で開催されたパネルディスカッション「リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か³⁾」での議論によれば、結論は、情報の多い新設ならともかく、竣工後数年経過したコンクリートの強度推定は、相当数のコアによる破壊試験結果と反発度と対応があること、工学的に議論・検証のできる技術者の検証があつて、はじめてなんとかおおよその範囲で可能であり、ただ反発度を測るだけでは無理だということであった⁴⁾。反発度は、深さ1~2 cmまでのコンクリートの品質を反映したものであると考える研究者が多い。

そこで、ここでは、リバウンドハンマーの適用を新設構造物の範囲に限定し、新設のコンクリート強度の推定、すなわち、竣工までのコンクリート強度管理に供することを目的として、N (NR) 型、P型リバウンドハンマーおよびシルバーシュミットで得られる反発度あるいは反発速度比と圧縮強度の関係を求める方法を提案する。

4.2 試験方法の基本方針と検討課題

試験方法を下記①~⑥の方針で検討した。

①適用の範囲は新設コンクリートに限る。

②反発度 R および反発速度比 Q は、原則として、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」に従い測定する。

③脱型（湿潤状態が保たれ乾燥により水和が阻害されていない）前のコンクリートの圧縮強度を推定する方法を検討する。つまり、構造物コンクリートへのリバウンドハンマーの適用は、無乾燥面に限ることとする。これは、図-6の圧縮強度分布⁵⁾に示すように、打撃面となる表層部は、乾燥により水和が阻害され、内部に比し強度が小さくなるためである。

④現場で打設するコンクリートと同じ材料、調合で混練・打設した試験体、あるいは、打設したコンクリートそのものを用いて作製した試験体について、リバウンドハンマーによる反発度 R もしくは反発速度比 Q の測定および圧縮強度を測定し、リバウンドハンマーの測定値と圧縮強度の関係を求める方法を検討する。なお、可能ならば、試験に供する試験体は円柱供試体のみの範囲としたい。

⑤リバウンドハンマーの測定値と圧縮強度の関係を1か月程度で求められる方法とする。

そして、試験方法を次のように想定して検討を進めた。

i) 現場で打設するコンクリートと同じ材料、調合で混練したコンクリート、あるいは、実際に打設したコンクリートを $\phi 100$, $\phi 150$ mm 円柱供試体、300×300×150 mm の型枠に打設し、成型する。

ii) 試験体は密閉状態を保ちながら、所定の温度（標準を20℃とするが任意に定めてもよい）で、所定の材齢（1, 3, 7, 14, 28日）まで養生する。

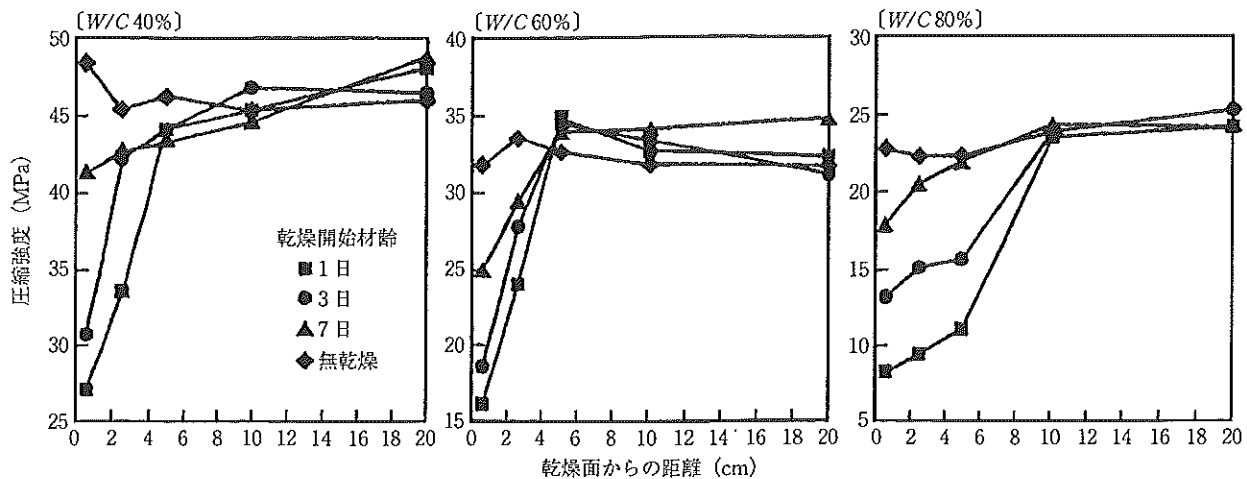


図-6 圧縮強度分布⁵⁾

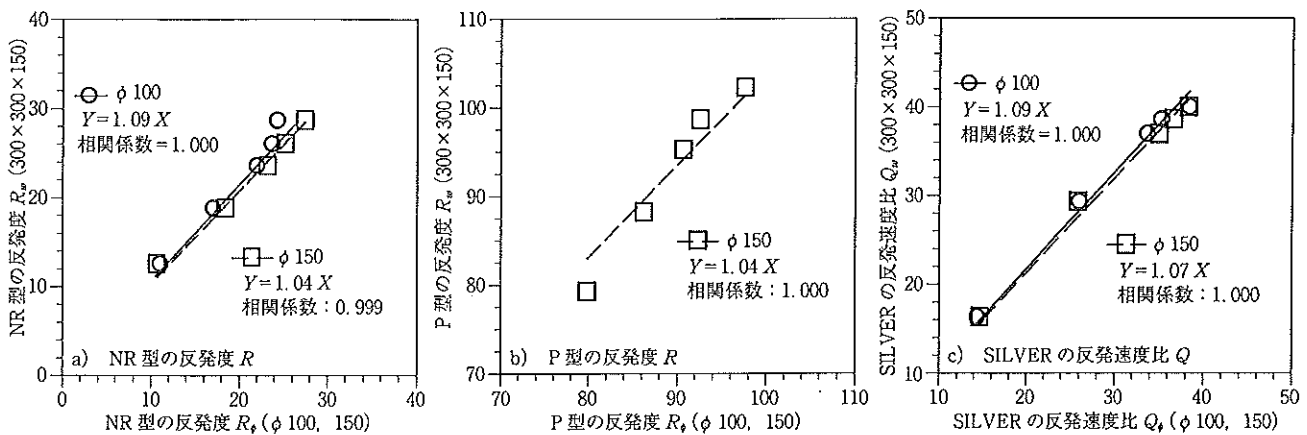


図-7 反発度および反発速度比の曲率による相違

iii) 材齢 1, 3, 7, 14, 28 日で、日本建築学会「コンクリート強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」(昭和 58 年) p. 17 に記載の拘束圧力 25 kgf/cm^2 以上を参考に、 $\phi 100 \text{ mm}$ 円柱供試体には 20 kN 、 $\phi 150 \text{ mm}$ 円柱供試体には 50 kN 、 $300 \times 300 \times 150 \text{ mm}$ 壁模倣供試体には 120 kN の拘束圧力をかけ、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」に準じて、反発度 R および反発速度比 Q を測定する。

iv) 反発度 R および反発速度比 Q 測定後の $\phi 100$ 、 $\phi 150 \text{ mm}$ 円柱供試体について、JIS A 1108:2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、圧縮強度 σ を測定する。

v) 5 材齢 (1, 3, 7, 14, 28 日) における反発度 R および反発速度比 Q と圧縮強度 σ を対応させ関係を確立する。

また、今回は、次のことを検討課題とした。

構造体コンクリートにリバウンドハンマーを適用する場合は、平面に対してリバウンドさせる。一方で、JIS A 1108:2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」は、 $\phi 100 \times 200$ 、 $\phi 125 \times 250$ 、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ 円柱供試体を試験体の標準と定めている。そして、現在では $\phi 100 \times$

200 mm 円柱供試体を利用することが大半である。しかしながら、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 円柱供試体の曲率は、3つの寸法形状の中で、当然ながら最も大きい。

そこで、実験では、同一コンクリート・同一材齢において、 $\phi 100 \times 200$ 、 $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ 円柱供試体に対する反発度 R および反発速度比 Q と $300 \times 300 \times 150 \text{ mm}$ 壁模倣供試体に対する反発度 R および反発速度比 Q を比較検討した。その結果を検討し、可能であれば、壁模倣供試体を作製することなく、 $\phi 100 \times 200 \text{ mm}$ 円柱供試体のみによって、それが無理なら $\phi 150 \times 300 \text{ mm}$ 円柱供試体によって、反発度 R および反発速度比 Q と圧縮強度 σ との関係図を作成することを検討した。

4.3 実験結果および考察

(1) 反発度および反発速度比に及ぼす測定面の曲率の影響と推定強度

図-7 は、反発度および反発速度比について、 $\phi 100$ 、 $\phi 150 \text{ mm}$ 円柱供試体で得られた値と $300 \times 300 \times 150 \text{ mm}$ 壁模倣供試体で得られた値の対応を示している。どの値も $300 \times 300 \times 150 \text{ mm}$ 壁模倣供試体で得られた値が大きいこと、また若干であるが曲率のより大きい $\phi 100 \text{ mm}$ 円柱供試体に対する値の比 (NR:1.09 倍, SILVER:1.09 倍) が、 $\phi 150 \text{ mm}$ 円柱供試体に対する値の比 (NR:1.04

倍、P型：1.04倍、SILVER：1.07倍）よりも大きいことがわかる。このことは、円柱供試体のみによって作成した圧縮強度と反発度および反発速度比の関係をもとに、実際の構造物の平面に対して測定した反発度、反発速度比を対応させ求めた圧縮強度は、大きめに推定されることになり、危険側の評価となることを意味する。使用した円柱供試体の直径が小さい（曲率が大きい）ほど、より危険側の評価となる。

さらにNR型シュミットハンマーの反発度をみると、反発度が22を超える範囲では平面の反発度が益々大きくなることわかる。

(2) 圧縮強度と反発度および反発速度比の関係の求め方に関する2方法の提案

圧縮強度の推定では、円柱供試体のみによって作成した圧縮強度と反発度および反発速度比の関係に、平面で得られた測定値をそのまま対応させられないことから、次の対策・方針を考えた。

- ① 今回のように、 $\phi 100 \times 200$ mm 円柱供試体と $300 \times 300 \times 150$ mm 壁模倣供試体を同時に同一条件で作製し、反発度 R および反発速度比 Q を $300 \times 300 \times 150$ mm 壁模倣供試体で、圧縮強度 σ を $\phi 100 \times 200$ mm 円柱供試体によって測定し、両者の関係をもって関係式とする。
- ② $\phi 100 \times 200$ mm 円柱供試体もしくは $\phi 150 \times 300$ mm 円柱供試体のどちらかのみにより、圧縮強度 σ と反発度 R_p および反発速度比 Q_p を測定するが、圧縮強度と平面における反発度 R_w および平面における反発速度比 Q_w の関係を構築するため、実績により、円柱供試体で測定された値に実験係数を乗じる。今回の実験では、この実験係数は、 $\phi 100$ mm に対してNR型、SILVERの場合1.09、 $\phi 150$ mm に対してNR型、P型1.04、SILVER1.07となる。

もちろん、①の方が、本質的な関係の構築であるといえるが、簡便性を考えると②を検討する価値は大きい。②における問題点は、曲率が大きいほど反発度および反発速度比は、小さくなることは確かだとしてもその比（上でいう実験係数）がいくらであるかについては、多くの確認実験が必要であろうし、安全側の評価を行うため、仮に妥当な値が得られたとして若干大きい値を設定することも適切であろう。また、今回の $\phi 100$ での挙動をみると、適用強度範囲も考える必要がある。

4.4 「コンクリートの反発度および反発速度比と圧縮強度の関係の求め方」の提案

まだ改善の余地はあるが、現時点における成果に基づき下記のように「コンクリートの反発度および反発速度比と圧縮強度の関係の求め方」を2案提案する。

(1) 現時点においてベターな方法（方法A）

- ① 現場で打設するコンクリートと同じ材料、調合で混練したコンクリート、あるいは、実際に打設したコ

ンクリートを $\phi 100$ mm 円柱供試体、 $300 \times 300 \times 150$ mm の型枠に打設し、成型する。

- ② 試験体は密閉状態を保ちながら、所定の温度（標準を 20°C とするが任意に定めてもよい）で、所定の材齢（1, 3, 7, 14, 28日）まで養生する。
- ③ 材齢1, 3, 7, 14, 28日で、 $300 \times 300 \times 150$ mm 壁模倣供試体には120 kNの拘束圧力をかけ、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」に準じて、反発度 R および反発速度比 Q を測定する。また、 $\phi 100$ mm 円柱供試体について、JIS A 1108:2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、圧縮強度 σ を測定する。
- ④ 5材齢（1, 3, 7, 14, 28日）における反発度 R および反発速度比 Q と圧縮強度 σ を対応させ関係（図-3）を求める。

(2) 検討課題があるが簡便な方法（方法B）

- ① 現場で打設するコンクリートと同じ材料、調合で混練したコンクリート、あるいは、実際に打設したコンクリートを $\phi 100$ (24 N/mm^2 程度までの強度推定)もしくは $\phi 150$ mm 円柱供試体に打設し、成型する。
- ② 試験体は密閉状態を保ちながら、所定の温度（標準を 20°C とするが任意に定めてもよい）で、所定の材齢（1, 3, 7, 14, 28日）まで養生する。
- ③ 材齢1, 3, 7, 14, 28日で、 $\phi 100$ mm 円柱供試体には20 kN、 $\phi 150$ mm 円柱供試体には50 kNの拘束圧力をかけ、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」に準じて、曲面反発度 R_p および曲面反発速度比 Q_p を測定する。
- ④ 曲面反発度 R_p および曲面反発速度比 Q_p 測定後の $\phi 100$ あるいは $\phi 150$ mm 円柱供試体について、JIS A 1108:2006「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、圧縮強度 σ を測定する。
- ⑤ 曲面反発度 R_p および曲面反発速度比 Q_p それぞれに実験係数（例えば、 $\phi 100$ mm に対してNR型、SILVERの場合1.09、 $\phi 150$ mm に対してNR型、P型1.04、SILVER1.07）および必要に応じて安全率を乗じ、（平面）反発度 R_w および（平面）反発速度比 Q_w を求める。
- ⑥ 5材齢（1, 3, 7, 14, 28日）における（平面）反発度 R_w および（平面）反発速度比 Q_w と圧縮強度 σ を対応させ関係（図-8、図-9）を求める。

5. ま と め

N型、P型シュミットハンマーによる反発度とシルバースュミットハンマーによる反発速度比を相互に比較・検討した結果をまとめると、以下のとおりである。

- (1) どの各測定値も標準偏差が小さく、標準偏差に対応する推定圧縮強度では1~4 N/mm^2 程度であった。

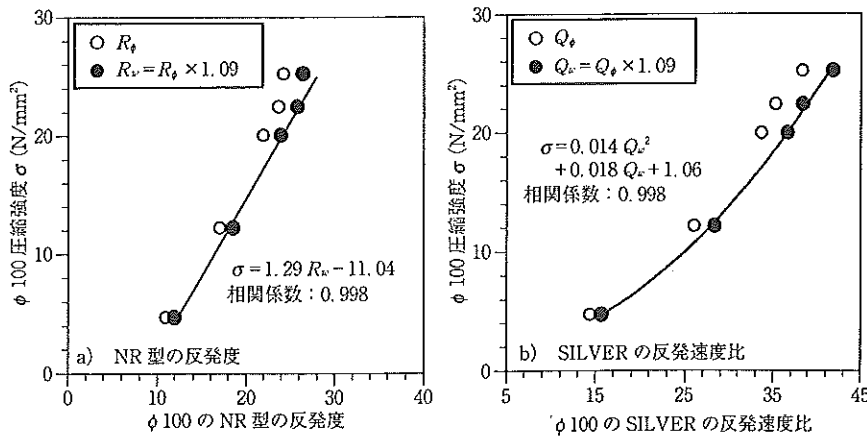


図-8 φ 100 圧縮強度σと反発度および反発速度比の関係

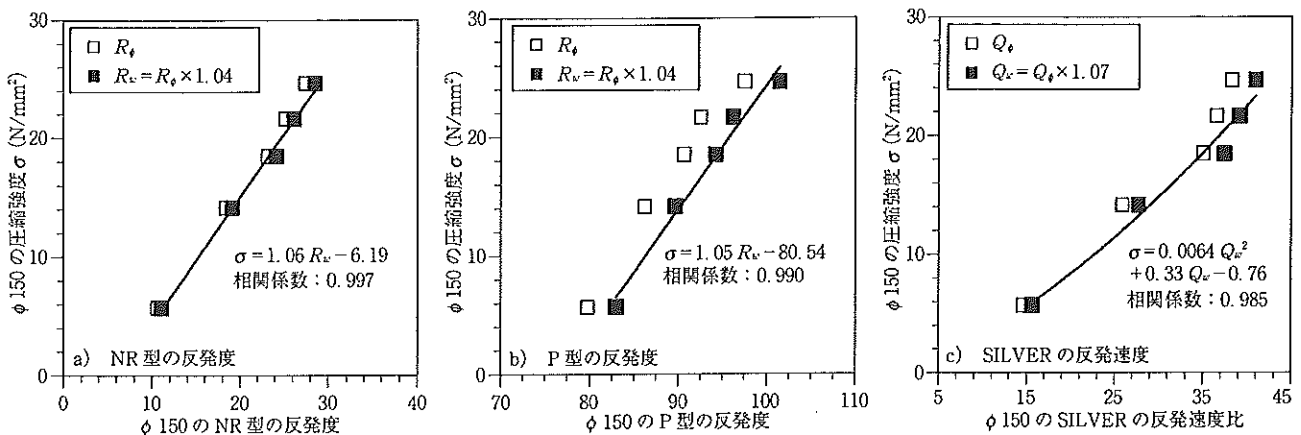


図-9 φ 150 圧縮強度σと反発度および反発速度比の関係

(2) φ 100×200 mm 円柱供試体で得られた圧縮強度と各測定値の関係は、NR 型、P 型シュミットハンマーの反発度では、直線関係があった。シルバーシュミットによる反発速度比とは、20 N/mm² 程度以上では、反発速度比が頭打ちに推移した。

(3) NR 型シュミットハンマーの反発度で 25 以下 (圧縮強度 25 N/mm² 程度以下) の範囲では、NR 型シュミットハンマーの反発度に比し、P 型の反発度、シルバーシュミットの反発速度比の順に絶対値の変化が大きく、推定には有利であることがわかった。

また、竣工までのコンクリート強度管理に供することを目的とした、リバウンドハンマーの反発度・反発速度比と圧縮強度の関係を求める方法を検討した結果、

(4) 反発度および反発速度比は測定面の曲率が大きいほど小さくなることが明らかとなり、円柱供試体のみによって構築した圧縮強度と反発度および反発速度比の関係に、実建造物の平面に対して測定した反発度および反発速度比を対応させ圧縮強度を求めると、大きめの推定につながるがわかった。

(5) 「コンクリートの反発度および反発速度比と圧

縮強度の関係の求め方」として、φ 100 mm 円柱供試体と 300×300×150 mm 壁模倣供試体を併用する案、φ 100 もしくは φ 150 mm 円柱供試体のみで行う案、2 案を提案した。

6. おわりに

リバウンドハンマーは、反発度とその圧縮強度は正の相関関係があるという点を見る限り、強度を押し量る尺度になっていることは何人とも認めることだろう。その点において、正確な強度を推定できなくともそれなりの強度の尺度であることの意義は高いと考えることができる。それが竣工検査の範囲を逸脱しないならば、今回示したような関係式の作り方が議論されれば、推定強度の精度を高めることも可能であろう。

現在、文献 6) で掲載したが、構造体コンクリートの強度試験方法は多種にわたる。容易に、安価で、構造物をあまり傷つけることなく、強度を正確に評価することが可能な試験方法の出現を社会は期待している。今後もこれらをすべて満たす試験方法の出現は難しい状況にあるが、唯一の万能な試験方法でなくとも、試験方法を理解し、目的に応じて選択・採用すれば、強度を主として構造体のコンクリートの品質を理解することは可能な

時代でもある^{7),8)}。その中で、リバウンドハンマーの使い方はどうあるべきなのだろうか。

今後もリバウンドハンマーのあり方、使い方を広く議論していきたい。

なお、本報告で示した実験データおよび考え方は、文献9)、文献10)で既に研究論文として報告している。

参 考 文 献

- 1) 谷川恭雄・魚本健人・湯浅 昇・山田和夫・込山貴仁・永山 勝・濱崎 仁：コンクリート構造物の非破壊検査・診断方法，pp.19～47，セメントジャーナル社，2006.12
- 2) 湯浅 昇：コンクリート強度測定におけるリバウンドハンマーの位置づけ，建築仕上技術，Vol.32，No.383，pp.40～49，工文社，2007.6
- 3) 日本建築学会関東支部材料施工専門研究委員会：パネルディスカッション「リバウンドハンマーによって圧縮強度は推定可能か」資料，2005.3
- 4) 湯浅 昇・笠井芳夫・松井 勇・西田健治：表層から内部への不

- 均質性・中性化を考慮したリバウンドハンマーによる構造物コンクリートの強度推定，シンポジウム「コンクリート構造物への非破壊検査の展開」，Vol.2，pp.373～376，日本非破壊検査協会，2006.8
- 5) 湯浅 昇・笠井芳夫・松井 勇：構造物コンクリートの表面から内部にいたる圧縮強度分布，セメント・コンクリート論文集，No.51，pp.840～845，セメント協会，1997
- 6) 湯浅 昇：鉄筋コンクリート構造物の耐久性診断方法，コンクリート工学，Vol.46，No.1，pp.23～30，日本コンクリート工学協会，2008
- 7) 湯浅 昇：非（微）破壊試験のための構造物コンクリートの物性解説，非破壊検査，Vol.53，No.9，pp.538～544，日本非破壊検査協会，2005.9
- 8) 湯浅 昇（企画・監修・執筆）：第三者が検証可能なRC構造物の品質性能評価方法，建築技術，No.703，pp.91～177，2008.8
- 9) 平野 友・湯浅 昇・笠井芳夫・美田町雅弘・三浦彰吾：各種リバウンドハンマーによる測定値の相互比較，平成22年度春季講演大会（東京）概要集，pp.121～124，日本非破壊検査協会，2010.5
- 10) 美田町雅弘・湯浅 昇・笠井芳夫・平野 友：リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度の関係を試験で求める方法の提案，平成22年度春季講演大会（東京）概要集，pp.125～128，日本非破壊検査協会，2010.5

リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度の関係を試験で求める方法の提案

- 平面供試体とφ100mm円柱供試体を用いる方法 -

正会員 ○美苗町雅弘* 同 湯浅 昇**
同 笠井 芳夫*** 同 松井 勇****

コンクリート リバウンドハンマー シュミットハンマー
圧縮強度 反発度 キャリブレーション

1. はじめに

平成15年、コンクリートの反発度の測定に関して、JIS A 1155:2003「コンクリートの反発度の測定方法」が制定されたが、反発度の測定結果から強度を推定する方法については、示されていない。

反発度と圧縮強度の関係は、研究者・試験条件によって異なっている。圧縮強度を推定するまでには、多くの未解決な問題が残っており、正確な強度推定に至るまでには、多くの時間と手間がかかる手法といえる。

このような状況の中、筆者らは、リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度との関係を求める方法の提案を模索し、W/C=57.5%のコンクリートを用いて、φ100mm円柱供試体と300×300×150mm壁模擬供試体を併用する案、φ100もしくはφ150mm円柱供試体のみで行う案を提案した¹⁾。

本報は、前報¹⁾で示した結果に、W/C=20、40、60、80、100、120、140%のコンクリートによる結果を加えて、前報の提案を検証したものである。その結果に基づいて、平面供試体とφ100mm円柱供試体による反発度と圧縮強度の関係を提案するものである。

2. 実験概要

(1) 供試体の作製と養生

表-1はコンクリートの材料、表-2はコンクリートの調合を示したものである。これをφ100×200mm円柱型枠、NDIS 3424「ボス供試体の製作方法及び圧縮強度試験方法」で規定される100×100×200mm型枠(100×100mmの面が平行で加工面とできる)、実構造物の壁を模擬した

300×300×150mm型枠にコンクリートを打設(表-3)し、試験材齢(1、3、7、14、28日)に達するまで20.0°C湿度60%の恒温恒湿室において、封緘養生を行った。

(2) 反発度・反発速度比の測定

NR型シュミットハンマー(以降、NR型と略す)、P型シュミットハンマー(以降、P型と略す)、シルバーシュミットハンマー(以降、シルバーと略す)を用いて、日本建築学会「コンクリートの強度推定のための非破壊試験方法マニュアル」(昭和58年)p.17に記載の拘束圧力25kgf/cm²以上を参考に、100×100×200mm角柱供試体には30kN、300×300×150mm壁模擬供試体には120kNを加え、JIS A 1155に準じて、反発度R・反発速度比Qを測定した。

(3) コンクリートの圧縮強度の測定

JIS A 1108「コンクリートの圧縮強度試験方法」に従い、圧縮強度を測定した。

3. 実験結果及び考察

(1) 100×100×200mm角柱供試体と300×300×150mm壁模擬供試体から得られる反発度・反発速度比の相互関係

図-1は、W/C=40、80%のコンクリートについて、100×100×200mm角柱供試体から得られる反発度・反発速度比と300×300×150mm壁模擬供試体から得られる反発度・反発速度比の関係を示したものである。反発度・反発速度比は、ほぼ等しく、平面であれば、形状によらず、反発度及び反発速度比は、同じ値になるといえる。

(2) 平面供試体に対する反発度・反発速度比とφ100mmの圧縮強度の関係

図-2は、それぞれのリバウンドハンマーにおいて得られた平面供試体(角柱供試体、壁模擬供試体含む)から得られた反発度及び反発速度比とφ100mmの圧縮強度の関係を示したものである。

使用したセメント、骨材が同じW/C=40、60、80、100、120、140%のコンクリートによる結

表-1 使用材料

	W/C(%)							
	20	40	60	80	100	120	140	57.5(※前報 ¹⁾ で実験)
セメント	シリカセウムプレミックスセメント(ρ=3.03)			普通ポルトランドセメント(ρ=3.16)				
粗骨材	新渚産砂(ρ=2.62)			大井川産砂(ρ=2.62)		新渚産砂(ρ=2.58)と割石(ρ=2.68)4割		
細骨材	新渚産砂(ρ=2.65)			大井川産砂(ρ=2.65)		新渚産砂(ρ=2.65)		
水	T社製SSP104、P社製SPEN			T社製SSP104、P社製SPEN		T社製SSP104、P社製SPEN		
混和剤	T社製SSP104、P社製SPEN			P社製SPEN、P社製303A		T社製SSP104、P社製SPEN、P社製303A		P社製78S(T)

表-2 調合表

W/C (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	細骨材率 (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積 (l/m ³)						質量 (kg/m ³)		混和剤使用量 (kg/m ³)	空気量 (%)	スラブ (cm)	スラブフロー (cm)
				セメント		粗骨材		質量							
				セメント	粗骨材	セメント	粗骨材	セメント	粗骨材						
20	25	44.8	150	243	311	378	744	816	1005	2.13	6.9	-	48.9×46.8		
40	25	47.5	185	147	256	367	463	672	977	2.76	5.5	18.5	-		
60	25	41.1	180	99	313	363	313	820	973	3.13	4.5	16.5	-		
80	25	47.4	185	97	319	353	308	836	939	5.08	4.5	18.0	-		
100	25	45.2	180	57	324	394	180	850	1047	2.25	4.9	18.0	-		
120	25	45.2	180	47	329	399	150	861	1061	2.52	4.6	19.0	-		
140	25	45.2	180	41	332	403	129	869	1071	2.01	4.9	18.5	-		
57.5 [※]	20	46.3	180	99	313	363	313	820	973	3.13	4.5	20.5	-		

表-3 水セメント比別の各供試体使用本数

供試体形状及び寸法	W/C(%)	W/C(%)								1材齢あたり	
		20	40	60	80	100	120	140	57.5 [※]		
円柱供試体	φ100×200mm	15本	15本	15本	15本	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	15本	3本
平面供試体	100×100×200mm	-	15本	15本	15本	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	3本(28日のみ)	-	3本
	300×300×150mm	10本	10本	-	10本	-	-	-	-	10本	2本

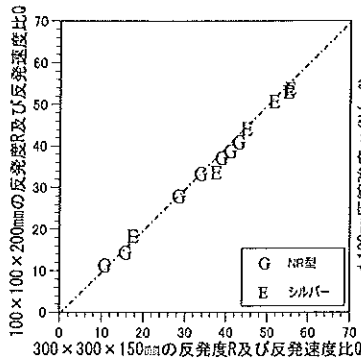


図-1 壁模擬供試体と角柱供試体の測定値の関係

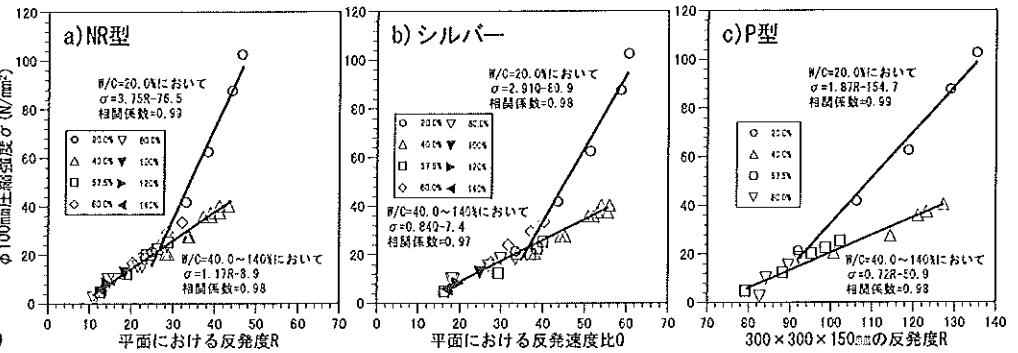


図-2 平面供試体の測定値とφ100mm圧縮強度の関係

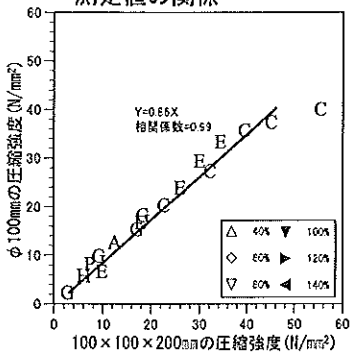


図-3 角柱供試体と円柱供試体の圧縮強度の関係

果は、既往の研究による結果(生コンを使っており厳密にはセメント、骨材が異なる)を含めて、調合・試験材齢の影響を受けずに、反発度・反発速度比と圧縮強度には高い相関が認められ一次式で表すことができることを示している。

これに対して、超高強度

度コンクリートとして作製したW/C=20%のコンクリートは、同コンクリート単独(5材齢の結果)では、反発度・反発速度比と圧縮強度に高い相関があり一次式で表せられるものの、W/C=40%以上の一次式とは明らかに異なっている。これは、超高強度コンクリートを作製するために使用した骨材及びシリカヒュームプレミックスセメントによるセメントマトリックスの強度・弾性係数を主とした化学・物理的性質に起因したものと考えられる。

これらの結果から、反発度・反発速度比と圧縮強度の関係の構築においては、セメントマトリックス及び骨材の化学・物理的性質の観点から、コンクリートの使用材料には注意を払う必要があることがわかる。

(3) 各リバウンドハンマーの適用性

図-2をみると、低強度から超高強度の範囲で、反発度・反発速度比とφ100mm円柱供試体の圧縮強度の相関は、リバウンドハンマー全てで高いこと、圧縮強度の変化に対するリバウンドハンマーの反発度・反発速度比の変化は、P型、シルバー、NR型の順に大きく、P型の方がNR型よりも圧縮強度の推定がしやすいことがわかる。

4. 「コンクリートの反発度および反発速度比と圧縮強度の関係の求め方」における新たな提案

以上の結果をもとに、前報¹⁾で提案した方法に対して、次の追加提案を行う。

①前報¹⁾提案方法Aにおいて、NR型およびシルバーシュミットを用いる場合は、300×300×150mmの型枠の代わりに、NDIS3424「ボス供試体の製作方法及び圧縮強度試験方法」で規定される100×100×200mm型枠を使うことを可能とする。

また、反発度・反発速度比測定後に、角柱供試体の圧縮強度を試験した結果、φ100mm円柱供試体の強度との対応は、図-3の通りである。

値は違いが極めて相関が高く、本実験では、前者は後者の0.86倍(これは試験上の形状・寸法効果といえる)であることから、

②前報¹⁾提案に、「方法C(NDIS 3424で規定される100×100×200mm型枠のみを使う方法)」として、NR型およびシルバーシュミットハンマーを用いる範囲(P型は適用できない)で、NDIS3424「ボス供試体の製作方法及び圧縮強度試験方法」で規定される100×100×200mm型枠のみを用いて、反発度・反発速度比を測定し、その後角柱圧縮強度を試験する方法を追加する。なお、その際は、得られた角柱圧縮強度に実験係数(例えば、本実験では0.86)及び必要に応じて安全率を乗じ、φ100mm円柱供試体推定圧縮強度を求めて、反発度・反発速度比とφ100mm円柱供試体推定圧縮強度の関係を構築するものとする。

5. まとめ

竣工までのコンクリートの強度管理に供することを目的として、リバウンドハンマーの反発度・反発速度比と圧縮強度の関係を求める方法を検討した結果は、次の通りである。

- (1) 角柱供試体と壁模擬供試体から得られる反発度及び反発速度比は、平面であれば、形状によらず、同じ値となる。
- (2) 反発度・反発速度比と圧縮強度の関係の構築においては、セメントマトリックス及び骨材の化学・物理的性質の観点から、コンクリートの使用材料には注意を払う必要がある。
- (3) 使用したセメント、骨材が同じ場合、NR型、P型、シルバーの各リバウンドハンマーとも、コンクリートの調合・試験材齢の影響を受けずに、低強度から超高強度の範囲で、反発度・反発速度比と圧縮強度の間に高い相関が認められ、一次式で表すことができる。
- (4) 圧縮強度の変化に対するリバウンドハンマーの反発度・反発速度比の変化は、P型、シルバー、NR型の順に大きく、P型の方がNR型よりも圧縮強度の推定がしやすい。
- (5) 既報¹⁾で提案した「コンクリートの反発度および反発速度比と圧縮強度の関係の求め方」の追加提案として、①φ100mm円柱供試体と100×100×200mm角柱供試体を使う案、②100×100×200mm角柱供試体のみで行う案を提案した。

【参考文献】

- 1) 湯浅 昇: リバウンドハンマーによる強度推定に関する課題提供-各種リバウンドハンマーの相互比較、リバウンドハンマーの反発度と圧縮強度の関係を試験で求める方法の提案-、コンクリート工学, Vol148, No. 12, pp23~30, 2010. 12

* 日本大学生産工学研究科建築工学専攻 大学院生
 ** 日本大学生産工学部建築工学科 教授 博士(工学)
 *** 日本大学 名誉教授 工学博士
 **** 日本大学生産工学部建築工学科 教授 工学博士

* Graduate Student, Graduate School of Industrial Technology, Nihon Univ.
 ** Prof, Dept of Architecture and Architectural Eng, College of Industrial Technology, Nihon Univ, Dr.Eng
 *** Emeritus Prof., Nihon Univ., Dr.Eng.
 **** Prof, Dept of Architecture and Architectural Eng, College of Industrial Technology, Nihon Univ, Dr.Eng

転倒工法における部材の大きさと縁切り部の形状が 転倒荷重に及ぼす基礎的研究

日本大学理工学部建築学科 中田 善久

1. はじめに

現在普及している建築物は、大量生産の裏に階上の解体が必要とされている。しかし、解体工事における事故の発生数は多く、時間、経費の削減を理由に十分な計画を立てずに起こるものや熟練者による経験に任せた解体工事計画の曖昧さが理由として挙げられる。これを原因に、事故として外壁崩壊事故や外壁の転倒失敗といった災害が起きている。また、RC建築物の高層化による階上の解体工法は必要性を増すと考えられ、その安全性の確保・強化のために転倒工法が用いられている。この転倒工法も柱や外壁の正の転倒方向に対して逆向きに転倒する事故例があり、建築物の安全解体のために効率的な規準が検討されている。しかしながら、転倒工法のデータの蓄積は、実部材を検証しなければならないため困難である。

そこで、本研究は、実部材を想定して作製する

縮尺モルタル模型に転倒工法を再現し、既往の研究で発案されている計算式から求めた値（以降、計算値と称す）と縮尺モルタル模型による転倒モーメントの実測値を検討するものである。

2. 縮尺モルタル模型の転倒モーメントの検討

2.1 実験概要

(1) 実験の要因と水準

実験の要因と水準を表1に、各水準の縁切り部の深さを図1に、縁切り部の模様を写真1に示す。想定した部材は、壁の1水準のみとした。調合要

表1 実験の要因と水準

水準	想定部材	調合要因 w/c	施工要因		
			縁切りの有無 [○]	縁切りの到達位置 [○]	鉄筋切断の有無 [○]
	1水準	1水準	2水準	4水準	2水準
①	壁	55%	有	無	無
②				無	有
③				転倒側から鉄筋1本目まで	無
④				転倒側から重心軸まで	有
⑤				無	無
⑥				転倒側の反対側から鉄筋1本目まで	有
⑦				無	無

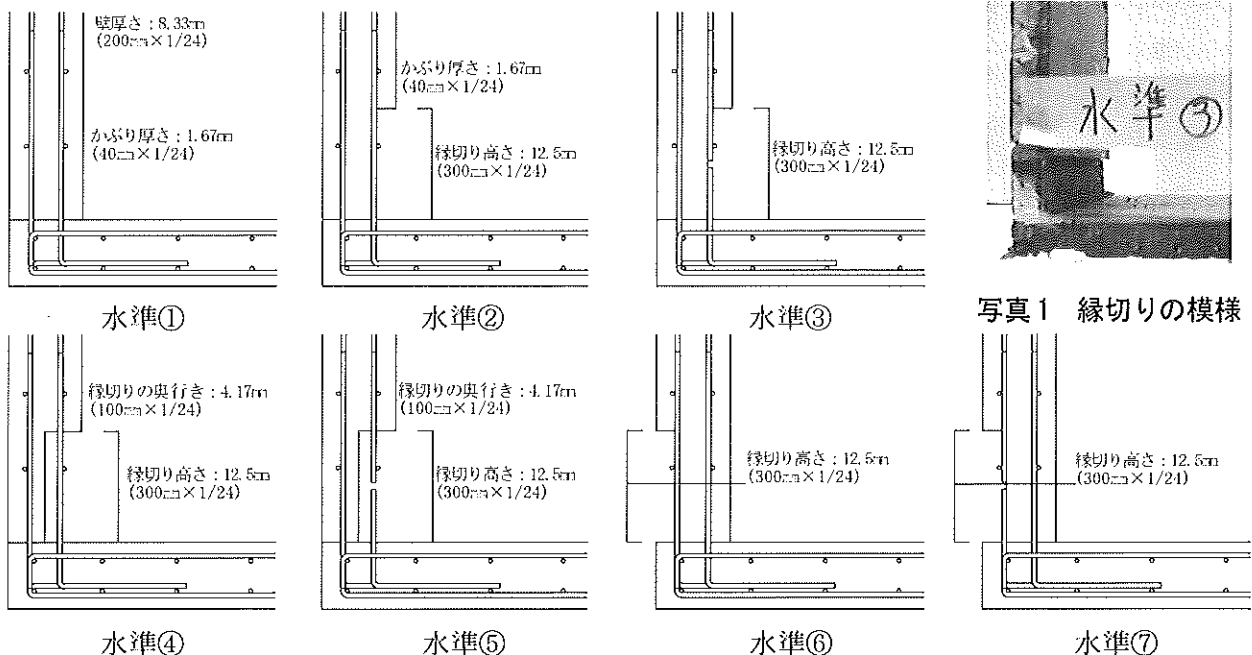


図1 各水準の縁切り部の深さ

因は、モルタルの水セメント比（以降、W/Cと称す）を55%の1水準とし、また、施工要因は、壁の縁切り部の有無および鉄筋切断の有無の2水準とした。なお、ここでは、転倒工法において壁部材が転倒する方を転倒側とし、縁切り部における深さにおいて4水準を設けた。

(2) 想定構造部材の調合および寸法

想定した建物のコンクリートの調合を表2に、想定した建物のスラブの概要を表3に、想定した建築物の概要を図2に示す。コンクリートの調合は、1965年に出版された日本建築学会の建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事における計画調合の定め方に記載される「標準情報表による計画調合の定め方、砂・砂利・AEコンクリート調合表」¹⁾に示されたものを使用し

表2 想定した建物のコンクリートの調合

W/C (%)	s/a ^{※1} (%)	かさ容積 ^{※2} (m ³ /m ³)	単体量 (kg/m ³)				フレッシュコンクリートの性状	
			W	C	S	G	スラブ (cm)	空気量 (%)
55	46.2	0.58	175	317	822	957	18	4.5

※1 s/a：細骨材率 ※2 単位粗骨材かさ容積

表3 想定した建物のスラブの概要

スラブ厚	位置	主筋方向		配力筋方向	
		端部	中央	端部	中央
200	上端筋	D13@200	D13@200	D13@200	D13@200
	下端筋	D13@200	D13@200	D13@200	D13@200

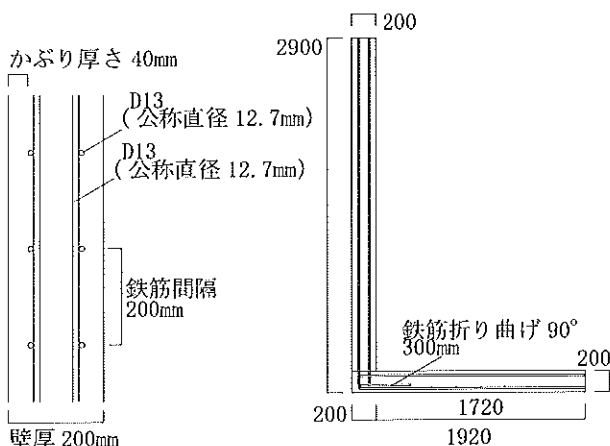


図2 想定した建物の概要

た。調合について、単位水量は、上限200kg/m³とあったが調合表に従い175kg/m³とした。スランプ（以降、SLと称す）は18cm、空気量は4.5%のものを想定した。なお、化学混和剤は、1955年半ばから導入されたAE減水剤が使用されたこととした。想定した建築物の寸法は、スラブの主筋方向1920mm×配力筋方向1600mm×厚さ200mmとし、壁の幅1600mm×高さ2900mm×厚さ200mmとした。配筋は、スラブについて上端筋および下端筋と主筋方向および配力筋方向にD13の200mm間隔とし、壁についてダブル配筋のタテ筋およびヨコ筋にD13の200mm間隔で施工されているものとした。なお、本研究において想定した構造体に用いた鉄筋D13は、縮尺モルタル模型の転倒用試験体に使用する鉄筋の縮尺寸法がD13に相当する規格のみのため、これを選定した。

(3) 使用材料

使用材料を表4に示す。使用した縮尺鉄筋は、D13相当のものを縮尺1/24の直径0.5mmである。

(4) 試験概要

a) モルタルの調合およびフレッシュ性状

モルタルの調合およびフレッシュ性状を表5に

表4 使用材料

材料	種類	品質・性状・主成分
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.16g/cm ³ 比表面積：3,290cm ² /g
水	上水道水	東京都千代田区
細骨材	栃木県栃木市尻内町産陸砂	表乾密度：2.61g/cm ³ 粗粒率：2.75 吸水率：2.30%
化学混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸塩、オキシカルボン酸塩
縮尺鉄筋	D13相当のもの 縮尺1/24 直径0.5mm	ビッカース硬度250 引張強度SD295～SD345相当

表5 モルタルの調合およびフレッシュ性状

W/C (%)	単体量 (kg/m ³)				Ad C×%	フレッシュモルタル				外気温度 (°C)	
	W	C	S	G		モルタルフロー (cm)		空気量 (%)	温度 (°C)		
						目標	実測				目標
55	175	317	822	957	1.0	120	100×100	4.5	7.0	20.0	21.0

示す。フレッシュ性状は、モルタルフローを目標値 120mm ± 5.0mm、空気量を 4.5% ± 1.0% と設定し、調合を満足する結果であった。

b) 試験体の概要

縮尺モルタル模型の配筋と脱型時の様子を写真2に示す。配筋は、200mm 間隔の 1/24 で 8.33mm とし、結束に瞬間接着剤を用いて施工した。また、スラブと壁の施工にあたっては、スラブ部材へモルタルを打込み、その4日後に壁部材へモルタルを打込んだ。締固めは、バイブレータを軽微に接触させ配筋がずれないように行った。

c) 試験項目

転倒用試験体の引張試験の概要を図3に、変位量の測定の様子を写真3に示す。引張試験は、転倒用試験体の上部にL字金物を装着し、ピアノ線を最大2kNまで計測可能な引張試験機テンソメーターのチャックに固定して引張力を加えた。試験

体の変位量は、上部および下部の2点を計測し、試験体中央部の変位量については上下の変位量の平均値を用いた。なお、引張力は、試験体が転倒するまで掛けるものとした。また、転倒用試験体とL字金物-ピアノ線の角度は、0° となるように、引張試験機テンソメーターと転倒用試験体の間に滑車を挟み角度調整を行った。この角度0° は、転倒モーメントの検討において算定式に加入されているため、今回の実験ではこの角度の影響を除外するために0° の一定とした。

その他の試験項目は、モルタルの性状についてモルタルフロー、空気量、圧縮強さ、曲げ強さおよび割裂引張強度を当該 JIS に準じて行った。

2.2 結果および考察

(1) 各種強度性状

モルタルの各種強度性状を表6に、縮尺鉄筋の引張強度試験結果を表7に示す。圧縮強さおよび

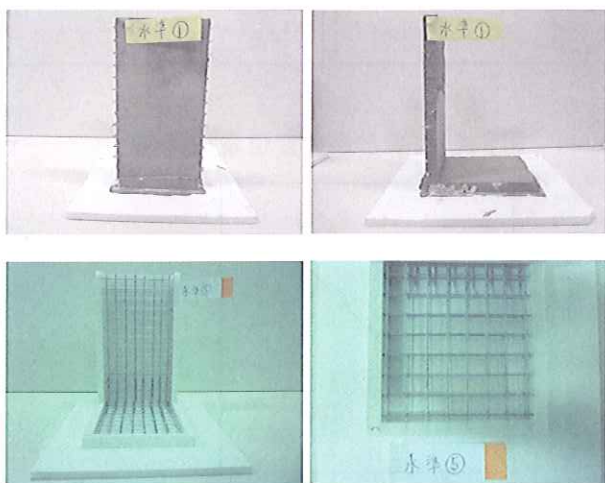


写真2 縮尺モルタル模型の配筋と脱型時の様子

表6 モルタルの各種強度性状

圧縮強さ (N/mm ²)		割裂引張強度 (N/mm ²)		曲げ強さ (N/mm ²)	
スラブ	壁	スラブ	壁	スラブ	壁
28.4	28.7	2.86	2.86	1.29	1.24

表7 縮尺鉄筋の引張強度試験結果

直径 (mm)	断面積 (mm ²)	縮尺鉄筋 引張強度試験結果			
		荷重P (N)		引張強度 (N/mm ²)	
		各値	平均	各値	平均
0.5	0.196	8.330	8.5	42.45	43.28
		8.477		43.19	
		8.673		44.19	



写真3 変位量の測定の様子

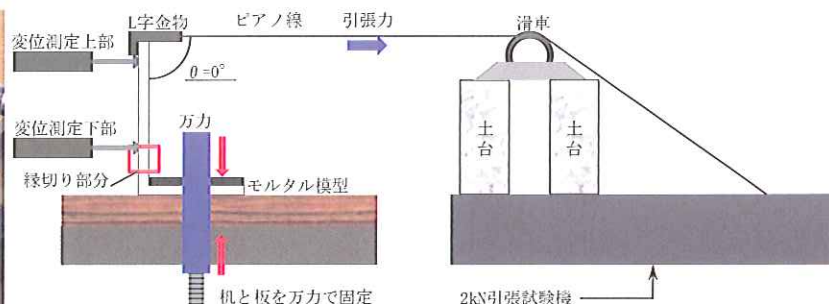


図3 転倒用試験体の引張試験の概要

割裂引張強度，曲げ強さは，練り日の違いに関らずほぼ同等であった。

(2) 引張力の検討

a) モルタルの縁切りが転倒モーメントに及ぼす影響

各水準と最大引張力の関係を図4に示す。最大引張力は、水準①において最も大きく、水準③から水準⑦にかけて小さくなる傾向を示した。水準③，⑤および水準②，④に関しては、壁の縁切り深さが水準④の方で深くなるため圧縮に耐えるモルタル部分の減少が影響したものと考えられる。最大引張力が水準⑦で最小となったのは、転倒を行う際に伸びの生じるモルタル部分を縁切りしたために破断しやすくなったものと考えられる。

各水準と最大変位量の関係を図5に示す。最大変位量は、縁切り深さの最も大きい水準⑤で最大となった。鉄筋を切断した際の最大変位量は、鉄筋を切断していないものに比べて小さくなる結果を示した。これは、鉄筋を切断することで、転倒用試験体がモルタルのみの構造となり、転倒するまでの変位量が小さくなったと考えられる。また、鉄筋の切断によって部材が転倒しやすくなり、縁切り部の影響が小さくなったと考えられる。

b) 縁切り部における鉄筋の切断が転倒モーメントに及ぼす影響

鉄筋切断無の引張力と鉄筋切断有の引張力の関係を図6に、鉄筋切断無の変位量と鉄筋切断有の量の関係を図7に

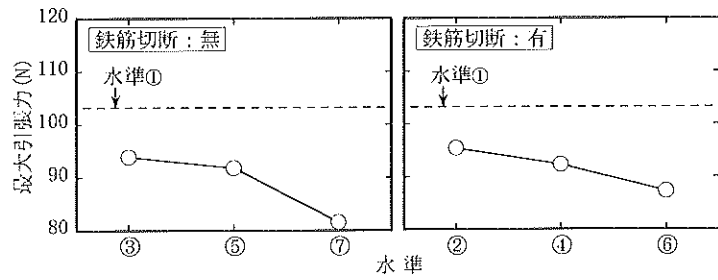


図4 各水準と最大引張力の関係

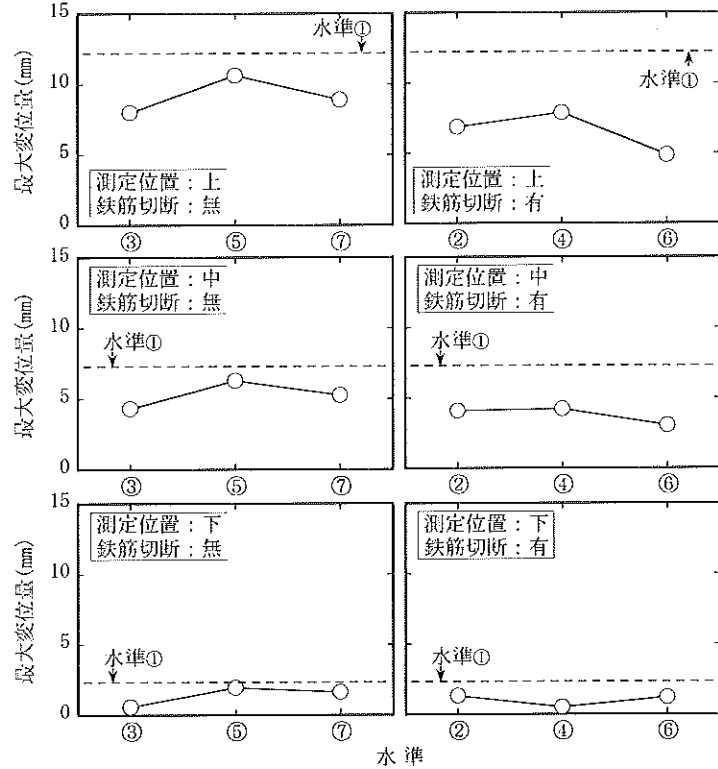


図5 各水準と最大変位量の関係

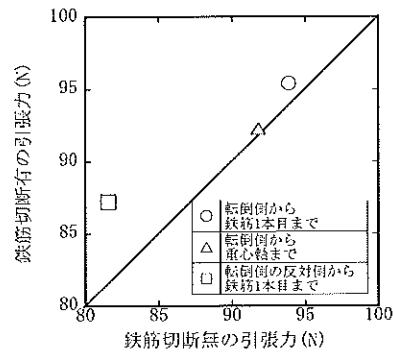


図6 鉄筋切断無の引張力と鉄筋切断有の引張力の関係

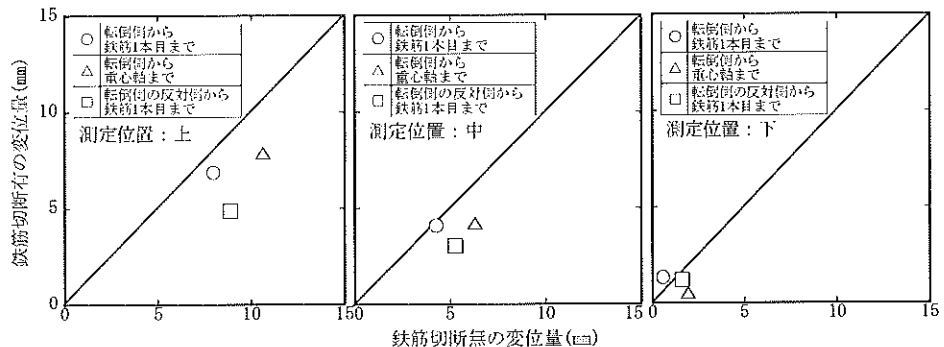


図7 鉄筋切断無の変位量と鉄筋切断有の変位量の関係

示す。引張力は、概ね同等となる結果を示した。転倒側の反対側から鉄筋本目まで縁切りを行った際の引張力は、鉄筋を切断した方で大きくなる傾向を示した。これは、試験体の作成方法や試験方法の誤差によるものと考えられる。また、変位量は、鉄筋を切断していない方へ概ね片寄る傾向を示した。これは、前述したように鉄筋を切断することで転倒用試験体が転倒するまでの変位量が小さくなるためと考えられる。転倒工法には、転倒するまでの変位が少なく、かつ小さい引張力で壁部材が転倒することが望ましいといえる。鉄筋を切断したことによる変位量の減少は、転倒工法の作業効率を上げる可能性を示していると思われる。

3. 縮尺モルタル模型から計算した転倒モーメントと実験による転倒モーメントの比較検討

3.1 転倒工法の原理

転倒工法²⁾とは、建築物の柱や壁あるいは煙突や塔などの脚部を折るなどして断面積を小さくし、転倒モーメントを利用して部材の自重で転倒させたり、ワイヤーロープを上部に固定し、ゆっくりとウィンチや重機で引いて引き倒す工法のことである。

$$M = hT \cos \theta - We - S_1 d_1 - S_2 d_2 - Cd_3$$

(Mが正なら転倒する)(Mが負なら安定する)

M : 転倒軸回りの転倒モーメント(tm)

h : 柱脚縁切り部から引きワイヤ作用点までの垂直距離 (m)

T : 引きワイヤ張力(t)

θ : 引きワイヤが水平面となす角(°)

W : 転倒体の質量(t)

e : 転倒軸と重心軸の偏心距離(m)

重心軸が転倒軸より後方にある場合正、前方にある場合負

S_1 : 後方残存鉄筋の引張抵抗力(t)

d_1 : 転倒軸より後方残存鉄筋までの水平距離(m)

S_2 : 前方残存鉄筋の座屈抵抗力(t)

d_2 : 転倒軸より前方残存鉄筋までの水平距離(m)

C : 残存コンクリート部分の引張抵抗力(t)

d_3 : 転倒軸より後方の残存コンクリート引張抵抗力作用点までの水平距離(m)

3.2 転倒モーメントの検討

(1) 転倒モーメントの計算

外壁転倒時の吊合い状態模式図を図8に、転倒モーメントの概略式³⁾を式(1)に示す。転倒工法は、引きワイヤーや重機のアームにより前方へ引倒そうとするモーメントが転倒軸に対して後方へ倒れようとするモーメントより大きい必要がある。なお、ここでは、転倒モーメントを計算後に引張力に換算し、計算値と実測値を比較した。

(2) 縮尺モルタル模型から計算した転倒モーメント

転倒用試験体の寸法と実測値および計算値による引張力を表8に示す。転倒モーメントの計算値は、全て負の値を示す結果となった。これより、(1)式の条件から水準①～⑦までの転倒用試験体は、安定した状態になると考えられる。

(3) 転倒モーメントの計算値と実測値の比較

実測値および計算値の引張力の関係を図9に示す。転倒用試験体を転倒させるためのワイヤーに掛かる引張力は、計算値に比べ実測値が上回る結果を示した。その割合は、水準①において約30%、水準④、⑤において最大70～80%の片寄りを示した。実測値が計算値を上回るとき、転倒用試験体を転倒させるために掛かる最大引張力が不明確に

(1) 式

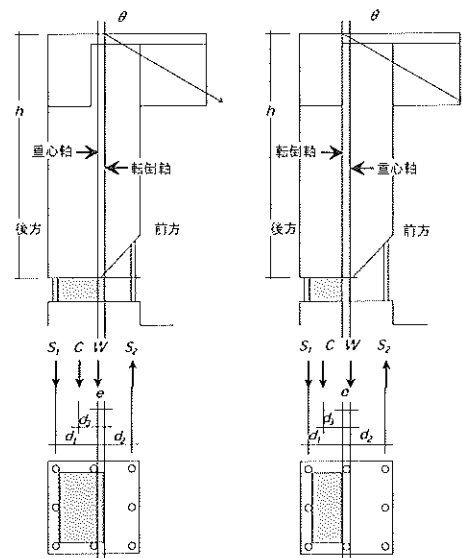


図8 外壁転倒時の吊合い状態模式図

表8 転倒用試験体の寸法と実測値および計算値の引張力

水準	壁質量 (g)	壁の厚さ (mm)		壁高さ (mm)	転倒側から前方にある鉄筋までの距離 (mm)	転倒側から後方にある鉄筋までの距離 (mm)	引張力 (kg)	
		位置※	各地				実測値	計算値
①	131.87	上	8.4	114.6	2.460	5.873	10.503	-7.578
		中	8.5					
		下	8.5					
②	146.25	上	8.4	114.9	0.265	3.148	9.728	-3.979
		中	8.5					
		下	6.7					
③	133.99	上	8.4	114.1	0.265	3.148	9.574	-3.719
		中	8.5					
		下	6.2					
④	141.44	上	8.4	113.8	1.706	1.706	9.409	-1.890
		中	8.5					
		下	4.2					
⑤	129.76	上	8.4	113.1	1.706	1.706	9.359	-1.889
		中	8.5					
		下	4.1					
⑥	142.60	上	8.4	114.8	2.460	5.873	8.894	-4.029
		中	8.5					
		下	6.7					
⑦	132.70	上	8.4	107.6	2.460	5.873	8.314	-3.942
		中	8.5					
		下	6.2					

※下：縁切りされた部分の厚さを計測

なり、建築物の解体転倒の安全性が低下すると考えられる。これに対し、実測値が計算値を下回る時は、転倒用試験体を転倒させるのに掛かる最大引張力を算出できるため作業の安全性が高まるものと思われた。しかしながら、本検討では、実測値が計算値を上回る結果であったため安全性が低くなるものと思われる。また、本研究の目的である転倒モーメントの実測値と計算値の正誤性は、使用した縮尺鉄筋や試験体の精度の影響などによって取れなかったと思われる。

4. まとめ

実部材を想定した縮尺モルタル模型に転倒工法を再現し、転倒モーメントの計算値と実測値を検討した。その結果、得られた知見を以下に示す。

- (1) 転倒用試験体を転倒させる引張力は、計算値に比べ実測値の方が30～80%大きくなった。
- (2) 転倒工法における実測値と転倒モーメントの計算値の正誤性は取れなかった。

今後は、転倒用試験体に使用する材料やモルタルの調合、試験体作成の精度、試験方法を検討する必要があると思われる。また、縮尺モルタル模

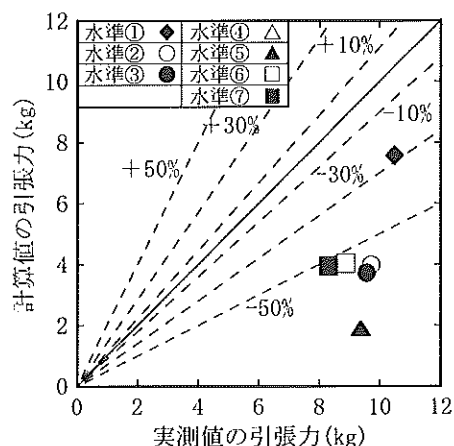


図9 実測値および計算値の引張力の関係

型の転倒用試験体から計測された引張力と実部材との相関性の可能性について検討していく。

【謝辞】

本実験に際して、日本大学理工学部建築学科中田研究室の学生に多大な協力をいただきました。ここに記して深謝いたします。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事，計画調合の定め方，p152，1965
- 2) 社団法人 全国解体工事業団体連合会：解体工事施工技術講習（国土交通大臣登録講習）テキスト 第2章解体工法と解体工事用重機，2009，p69
- 3) 笠井芳夫ら：階上解体における安全な解体工法（案），社団法人全国解体工事業団体連合会，2006，p. 72

平成 23 年度

解体工事に係る研究報告

テーマ「解体工事業における業種確立の必要性」

社団法人 福岡県建造物解体工業会
会長 平 典明

1. はじめに

近年、昭和30年～40年代の高度成長期に建てられた建物が、約40年を経過し、更新期を迎えている。また、都市部では再開発によりビルの取り壊しを始めとする建物の解体が増加している。循環型社会構築へ向けて廃材のリサイクルなどの観点から、解体工法も時代と共に変化し、技術的にも専門性が高い工事になっている。しかし、解体工事は業種として確立されておらず、専門的な国家資格も特別な許可もなく工事を受注・施工する事が法的に許されている。

こうした背景の中、解体工事は施工技術・労働災害の多発・資格制度・廃棄物の不法投棄による環境破壊など多くの問題点を抱えている。それらを解決するひとつの方策として業種の確立があげられる。よって本稿では解体工事業の業種を確立する必要性について考察する。

2. 解体工事業とは

(1) 解体工事業の成り立ち

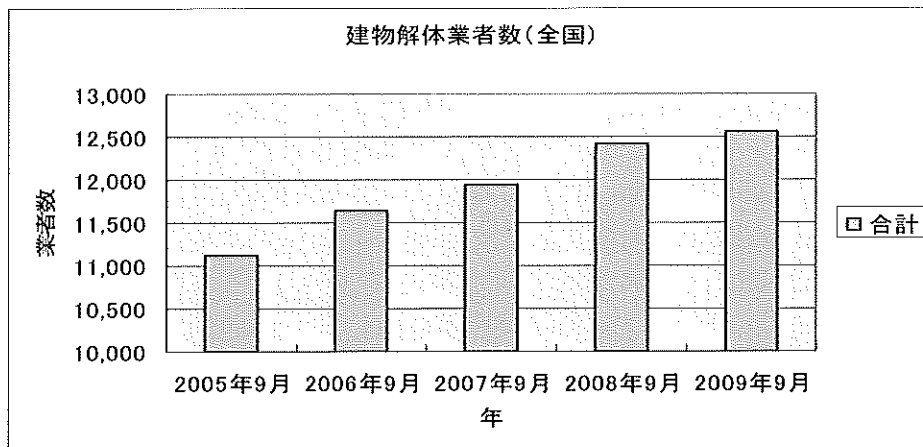
解体工事業界らしき業種が現れたのは、第二次世界大戦後、鉄筋コンクリート造建物の解体工事が頻繁に行われるようになってからのことである。それも、工法や機器の本格的な開発研究が始まったのは、ほとんど1970年以降のことに過ぎない。

日本伝統的解体工事業者は、「火消し」、「町鳶」、「古木屋」、「やま屋」あるいは「はつり屋」がその源流となっている。それ以外には、「建築・土木業者」、「建設機械施工業者」あるいは「産業廃棄物処理業者」等が解体工事業をも営むようになった例もある。特に後者の二つは、1980年代以降のことである。

(2) 解体工事業の実態

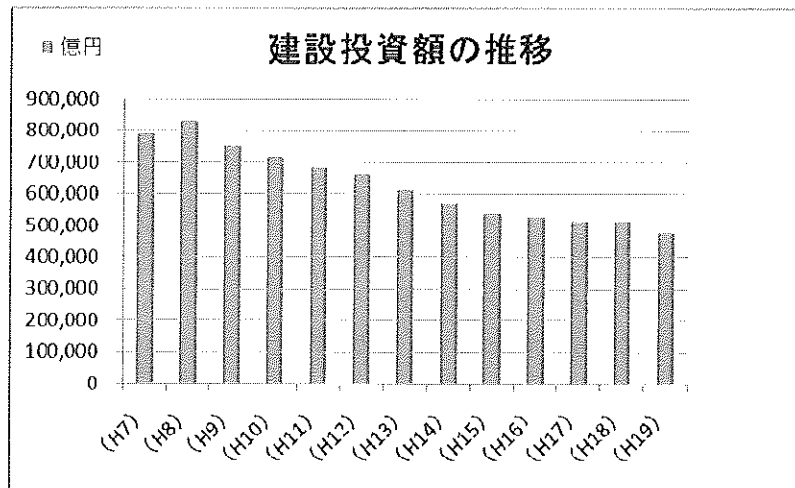
解体工事を受注・施工する業者は、建設業法の土木工事業、建設工事業又は、とび・土工工事業の許可を受けている建設業者に加え、建設リサイクル法における解体工事業者の登録をしている業者(約6000社)がいる。さらに兼業を含めるとその数を確定することは非常に困難であり、その詳しい実態は掴めていない。そこで(社)全国解体工事業団体連合会(以降 全解工連 とする)は、NTTタウンページ電話帳で「建物解体工事」で電話番号を登録している業者を調査した結果、2009年で業者数は、12500社程度だと発表している。(第1図参照)このデータを見る限り、解体業者が年々増加傾向にあることがわかる。これは、工事量の増加のみならず建設業界の売上不振(第2図参照)を受けて、他の建設業種から解体工事の分野への新規参入が増えているためであろう。

第1図



『NTTタウンページより全解工連調査』

第2図



『国土交通省建設投資推計』

(3) 建築・土木工事と解体工事の違い

建設工事は、主に建物を造るという業種であるが、解体工事は「建物を壊す」という特殊な工事である。新築工事のように「出来上るものの品質を確保する」こととは異なる工事である。継続的に専門的な知識とノウハウを身に付けた業者でなければ適正な解体工事の計画や施工は出来ない。建物解体は単純に建てた時の逆の手順で行うのではなく、作業性や効率を考えた独自の作業手順や工法・特殊機械が必要である。また、廃材のリサイクルを考慮した解体物の分別方法やアスベスト・フロン・ダイオキシンなどの有害物の除去や処理に関する知識や毎年のように改正が行われる産業廃棄物処理関係の法律についての情報収集など、時代に応じた対応が必要とされている。

建築・土木工事は、長年の技術の蓄積によって設計図書に基づいた工程や作業手順が存在し、それぞれの専門職の業者が順次作業を行う。特殊なものを除けば、工事のノウハウはある程度確立されているといっても過言ではない。解体工事を他の専門工事業と比較すると、大工・左官・鉄筋・とび・内装・設備などの建築の専門工事業は、その職種単独での作業ではなく、元請の連絡調整の基にひとつの建物を作る作業を様々な専門職が分担して行っている。解体工事がそれらの専門工事業とまったく違うのは、解体業者のみの単独で作業を行えることがある。すなわち土木・建築の工事や他の専門工事と建物解体とは、切り離すことが可能であり基本的に別の分野の工事といえる。

3. 解体工事業の現状と課題

(1) 建物解体理由の多様化

通常、建物を解体する理由は、建物の寿命や老朽化、付帯設備の陳腐化・地震・火災が主な理由としてあげられる。しかし、近年になって様々な理由から建物を解体する必要性が増えている。建築は、都市部の再開発などの建替えが中心であり、建替えには解体工事が必要となる。

建物に対する耐震構造の必要性からも解体工事が増加しており、今や解体工事は都市基盤整備に欠かせない工事となっている。

(2) 簡単な新規参入

解体業者には、解体工事を適切に遂行するための財務力と施工能力が必要である。しかし、財務力や施工能力がなくても建物解体を積極的に受注、施工する業者が増えている。土地取引など

に関連した解体工事では、不動産業などで建設業の許可さえもない業者やペーパーカンパニーが介入するケースも多い。しかも解体専門でないため解体工事の大部分を一括下請させる業者が多数存在するようである。

建築・土木の業者が建物解体を受注、施工しようとするれば特別な資格を取得する必要がない。また、新規に業の許可を取得する必要もない。簡単に解体工事の分野に参入でき、解体工事の質の低下となり不法投棄などの行為の原因となってしまう。こうした問題点の根本は、法的な制約がなく解体工事業へ簡単に新規参入できる点にある。

(3) 専門的な知識・経験・ノウハウが必要

建物は、完成した状態では安定状態にある。建物解体は、この安定した状態をこわしていく工事なので、解体を終えるまでは不安定な状態になる。解体のプロセスとは、万が一の倒壊を起こさせない安全対策が、解体の計画と実施の技術の基本となる。施工中の計画変更や作業方法の再検討が必要な物件は、ある意味日常的である。以前に解体した建物とまったく同じ建物はほとんどなく、熟練者がじっくりと計画した解体手順でも実施段階では、想定外の壊れ方をする建物もある。解体工事は、一定の物差しが通用せず、標準化が極めて難しい工事であり、建物解体の手順と工法は現場の経験と勘に依存している部分が多く、それが解体業者の技量・技術であり能力ともいえる。

早期に建物解体の新工法の開発や専門の研究者による研究が必要であり、解体工事のノウハウを熟知した専門の解体業者による責任ある施工が必要である。

(4) 解体工事の安全確保

建設業全体における労働災害の発生は、工事量の減少以上に年々減ってきている。しかし、解体工事における事故や災害だけを採ってみると、その数は増大している。平成20年度の建設業における全国の死亡災害数は、建設業全体で430名であり、そのうち42名が解体工事中によるものであり、10%近くまでなっている。他の建設業種に比べ災害の発生率が非常に高いことを裏付けている。

再発防止の対策として国交省は、「建築物の解体工事における外壁の崩壊等による公衆災害防止対策に関するガイドライン」を制定した。このガイドラインの有効性を疑問視せざる得ないことや解体工事を施工する末端の業者まで周知されていないように見受けられる。

厚生労働省の労働災害防止対策は、労働安全衛生法・同規則によるが、解体工事に関する教育や資格は極端に少ない。解体作業の安全を教育するには不十分な内容である。これらの技能講習、特別教育は、作業員のためのものであり、教育内容のレベルは、他の国家資格と比べてかなり低い。現状の解体工事のレベルを考えると、これらの教育だけで解体工事の安全を担保できるものではない。

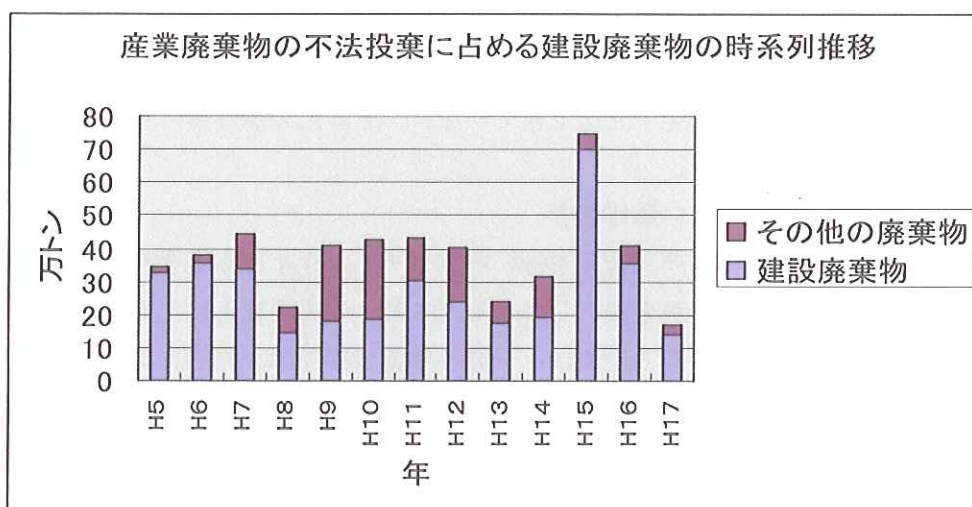
昨今の建物解体は都心部での工事が増えている。解体対象物や施工方法などが複雑化し、専門的知識や技術が必要とされ専門性が高く、工事中の危険度も高い。しかも第三者にも影響を及ぼす事態になる可能性が大きい。その現場に応じた安全な工法や安全な作業手順などのノウハウが必要である。事故率が高く、死亡災害件数も多い、解体工事なのに、専門的な知識を持った管理者の国家資格制度がないことが大きな問題点である。一定レベルの知識を身に付けさせ、資格試験に合格した管理者を育成するための資格制度を確立しなければ、解体工事の安全の担保はできない。早急に法整備を望まれるところである。

(5) 環境問題への対応

環境問題について考えると、解体工事は、一度に大量のゴミを発生させる仕事といえる。解体

工事で出るゴミは、産業廃棄物処理法の適応を受け、法的には産業廃棄物となる。不法に投棄された産業廃棄物の約70～80%位が建設業から排出されたものである。(第3図参照) それらの多くは建物を解体した時に出る廃棄物である。不法投棄は、解体工事を重点的に規制することでかなり抑制できることもデータから読み取れる。

第3図



(※H15については岐阜県岐阜市の大規模事案(約5.7万t)が含まれる)

『解体工事の設計と概算』

しかし、それでも不法投棄が減らないのは、下請で廃棄物を適正に最終処分場で処理するだけの費用が解体工事費に含まれていないため、ゲリラ的な不法投棄などを行う業者が存在してしまう。

解体専門の資格制度などがいないため、建物解体の施工方法や廃棄物の分別作業手順など良く知らない業者も存在する。適正な分別解体ができないため、大量の混合廃棄物を発生させ、処理先に困って不法投棄するケースも考えられる。

毎年のように解体や廃棄物に関する法律改正や通達が行われており、こうした「知らない。分からなかった。」は通知や通達が末端まで周知されていないことを意味している。すなわち解体工事業が確立していない現状の仕組みでは、解体工事に関する諸問題の解決のための施策が末端まで周知させることが難しく、徹底出来ないのである。情報の伝達が末端までスムーズに行えるようにするためにも、解体業として業種を確立しなければならない。

資格制度を整備し、こうした「知らない。分からなかった。」を無くすようにすること。また、悪徳業者の排除のため、法違反などの行為があった場合は、解体業としての許可や資格を取消すなどの厳罰がなければ根本的な解決にはならない。

(6) 産業廃棄物の処理責任

解体工事では、建物を解体する作業と同じくらい重要な事として解体した廃棄物の分別や運搬・リサイクル・処理などある。しかし、産業廃棄物処理法は、解体工事を主眼とした法律ではなくゴミ処理全般にわたる法律である。そのため解体工事現場(特に住宅の解体などの小規模現場)では、排出事業者にとって廃棄物処理法にのっとった運用がしにくいという問題点がある。

実態として元請は、排出事業者であるにもかかわらず、今までの商習慣から解体業者へ解体から廃棄物の運搬、処理までをほぼ一括に近い形で発注するのが当然のように行われている。排出事業者が行うべきことまで請ける下請の解体業者にも責任がある。

ひとつのアイデアとして、解体業者が一括で解体工事を行っているのなら、解体業者に責任

を持たせ、排出事業者とすれば一連の作業は何の問題もなくなる。毎年のように行なわれる法改正により産業廃棄物処理に関する規制強化などの動きもあるが、こと建物解体に関連しては、内容が不十分であり、実態に則した法体系の整備が必要である。

(7) 建設リサイクルの推進

建設リサイクル法は届出だけであって、分別解体し再資源化したかどうかの確認がない。登録制度については、500万以下の軽微な解体工事を行う登録業者を解体工事業者としている。500万円以上の解体工事を行う業者は、とび・土工や建築、土木の許可で営業しているので、建設業となり解体工事を行う業者を一元化できていない。そのため解体業の分母が確定できず業界の実態把握が難しくなっている。

(8) 同じ土俵で戦えない解体業者

建築工事では、設計事務所が監理を行い内容のチェックを行う場合やそうでない場合でも積算の根拠や業界の相場はある程度確立している。また、建設会社として原価管理など積算能力が必要なため、適正な価格競争がしやすい。一方、解体工事では、同じ土俵でコスト競争をしているのならともかく、解体工事の細目（工事内訳）に基づいた原価計算を行った見積りではない解体工事「一式」の見積りとコスト競争をしなければならない場合が多い。

建築・土木では、売上高や経営審査、技術者の数などによって業者のランクが決められている。しかし、解体工事に関しては明確な基準がないため、法人化し社会保険などを整備し、従業員を雇用している業者と、ひとり親方同然の業者でも基本的に同じ扱いになる。法的には、ひとり親方だと500万以下の工事しか受注できない。しかし、建設業の許可さえあれば、施工能力や会社の実態は関係ない。安い見積り金額だけが一人歩きしその結果、根拠のない請負金額で解体工事が行われている。

では、原価割れをしてまで、何故工事を受注するのか？それは、解体業者の大多数が弱小零細の施工会社でありながら、解体工事の施工のための大型重機や複数のダンプカーを保有し、直接従業員を雇用しているからである。そのため資金繰りは常に悪く、目先の仕事欲しさに自転車操業を繰り返しているという実態がある。こうした実態を知る元請からは足元を見られやすい。また、建築物が「無くなってしまう」ことで完了になるため、完成後の出来栄やアフターメンテについて考慮する必要がないため、下請け叩きの対象になりやすく、金額だけの勝負になってしまうケースが多い。発注者が適正な予算で発注したとしても、実際に工事を行う下請の解体業者に支払われる工事代金が適正に工事する代金に足りていない場合もあるようである。

現状は、解体の施工基準が決められていないため、適正なコストの積算根拠となる解体工事計画の策定がしにくい。解体の手順や方法によって工事金額が変動するので、見積りの基準が確立していないのと同じことである。これでは、適正な積算ができない。さらに見積り基準が必要な理由として、解体工事の工事費の相場や積算根拠が把握しづらいことで、ダンピングなどの行為とは真逆に、解体工事費を実際に掛かる経費以上の額を上乗せしている場合や裏金づくりなどに利用されるケースもあるようである。これは、発注者の信頼を裏切る行為といえる。

建築における設計事務所・積算事務所のような第三者による工事内容のチェックが行われる仕組みが無いことにも原因がある。発注者は、解体工事に関しての見積り金額や単価に関する情報や工事の知識が少ない場合が多い。解体工事は、どれが適正な価格なのか判断し兼ねる場合が出てくる。

4. 具体的な対応策の検討

(1) 解体業者のレベルアップ

解体業界の地位向上と理想に業態になるためには、今までの仕組みを変える必要がある。しかし、今まで業種確立ができなかった要因として、解体業者全体のレベルアップを図る努力が不足していた点あげられる。

まず、人材教育に力を入れ信頼される解体業界を確立しなければならない。行政などを巻き込み業界団体等で解体工事専門の人材を育てる事が急務である。この10年が循環型社会への転換期であり、資源循環型社会の構築が解体工事業の社会的責任（CSR）であることを認識し、各業者自身の努力しだいで解体業界のチャンスも多くなるのも事実である。社会的責任を自覚し地域環境に貢献しクリーンな業界として社会に認められるように努力する必要がある。

そして、解体工事業者として健全な経営ができる財務体質となるためにも積算能力の向上が必要であり、解体工事の積算基準を業界として作成し、適正な解体工事費で受注ができるようにすることである。その他、さらなる法令遵守・モラルアップ等も求められる。

(2) 業種確立には解体業者の元請受注

ほとんどの人は、家を建て替える時に初めて家を壊すことになる。おのずと建設会社やハウスメーカーが解体から建築まで一括で請負うことが多くなる。こうした建設業の受注形態では、必然的に解体業者はそれらの下請で建物解体を施工する事になる。そのため建設業界の競争の激化は、解体業へ大きな影響を与えることになる。

発注者側の視点では大手の建設会社であれば、その財務力や管理能力から工事が担保されるように考える。しかし、実態として解体工事は一括発注に近い形で下請けさせるケースが多くみられ、元請が商社化している。施工体制も重層下請構造になっており、適正な管理・監督が実施されない場合もある。また、解体工事の品質が完成する建物に直接関係がないため、ペーパーカンパニーが介入しやすい。そうした際には中間マージンが取られ、実施工者へ支払われる工事代金は目減りする。そのため、必要な予算に不足し、安全管理費や産業廃棄物の処理費を軽視した工事に陥りやすい。

いったい幾らで産業廃棄物が処理され、建物解体が施工されているのか？発注者にはブラックボックスとも思えるであろう。「請負」の名のもとに何もかも責任を押し付けられ、末端の施工業者の労働条件の悪化や不法投棄の原因ともなっており、解体業界の社会的信用の失墜を招いている。

(3) 解体工事における入札制度

この数年、公共建築物の解体工事が業界団体の陳情などの努力により、行政の理解を得られる範囲では、建設会社へ一括で発注されていた物件が、少しずつ解体工事と建築工事を切り離し、分離発注することが行われるようになってきた。しかし、解体工事の入札は地方によって異なるが、解体だけの工事物件だとしても入札用件としての建設業許可が「建築一式」「土木一式」となっている場合がある。これでは、解体専門の業者は入札に参加出来ないケースがほとんどで、解体業者は下請として施工するしかない。また、入札用件を「どび・土工」としている自治体もあるが、そのために解体工事の専門業者でない基礎工事業や外構工事業の業者にも入札資格があることになる。この問題は、「解体業」なる業種がないことが最大の原因である。

解体工事にこそ総合評価落札方式を進めるべきであり、施工実績や技術力・施工能力・地域性・信頼度・財務力などを考慮して発注すべきである。解体工事は、施工そのものが品質であり、どのように施工するのがポイントと言える。特殊性や難易度に応じて高度な技術を必要とする物件には、綿密な施工計画と技術提案を提出させ、優秀で技術力のある業者へ発注するのが適切で

ある。解体業者は、元請として解体工事を受注し、工事に責任を持つ事が重要なのである。行政の発注部局には、解体工事の入札制度を十分に検討するように希望する。

(4) 業界団体の活動の充実

解体工事業を営む業者の団体が各都道府県に設立され、全国規模の団体（社）全国解体工事業団体連合会を発足し、解体業種の確立との国家資格制度の設立の陳情などの活動を行っている。全解工連の主な活動は、独自の民間資格制度として「解体工事施工技士」を平成5年から創設している。この資格は、民間資格ではあるが解体工事の管理者の育成と業界のレベルアップに貢献している。活用事例としては、鹿児島県・秋田県・青森県・新潟県などで公共の解体工事の発注に際して「解体工事施工技士」の現場常駐を特記仕様書に規定している。しかし、全国的には国家資格でないために、その認知度は低く、解体業者の数が増えているにもかかわらず、毎年の資格取得者は横ばい状態である。全国的に見れば十分に活用されているとは言えない。また、この資格が建築・土木の施工管理技士の1級や2級のように経営審査事項において加点される資格ではないために、解体工事を行う業者であっても資格取得しない理由となっている。やはり、国家資格として行政における採用がなければ、資格者も増えず民間工事での活用は望めないと考える。

全解工連の活動は、この資格制度が中心であり、これ以外の活動にも努力すべきものがある。解体業は、まだ一般の国民から見ると馴染が薄い。「壊す」のイメージからダークな仕事との認識を持たれやすく、業種確立に関してマイナスになっているように思われる。社会にとって必要な業種であり循環型社会構築の担い手である重要な仕事であることを認知してもらえるように、広く一般へPRし国民の理解を深める努力をもっと行わなければならない。さらに、地域社会に貢献する活動や災害時のボランティアなどにも、もっと力を注いで欲しいものである。

(5) 解体工事業としての国家資格制度が必要

建設業界は、技術者数に応じて適正な受注と施工を目指してきた。しかし、国家資格者制度そのものがない解体工事ではチェック機能がなく、不良・不適格業者の参入の拡大を防ぐことが出来ない。解体工事の安全性と信頼性を担保するためには、適正な解体工事を行うための仕組みが必要であり、その仕組みこそが国家技術者資格制度である。建築・土木と違った専門知識が必要な解体工事であるからこそ解体工事専門の国家資格制度が必要である。早期に前述の「解体工事施工技士」の国家資格化が期待される。

(6) 発注者の意識改革

現在の経済状況においては、需要と供給の関係から民間であれ、公共であれ、発注者は、強い立場にあり解体工事を安くしたいのは当然の心理である。しかし、発注者の問題意識やモラルがなければ適正な解体工事はできない。現状の受注形態から言うのならば、元請への指導強化も必要である。

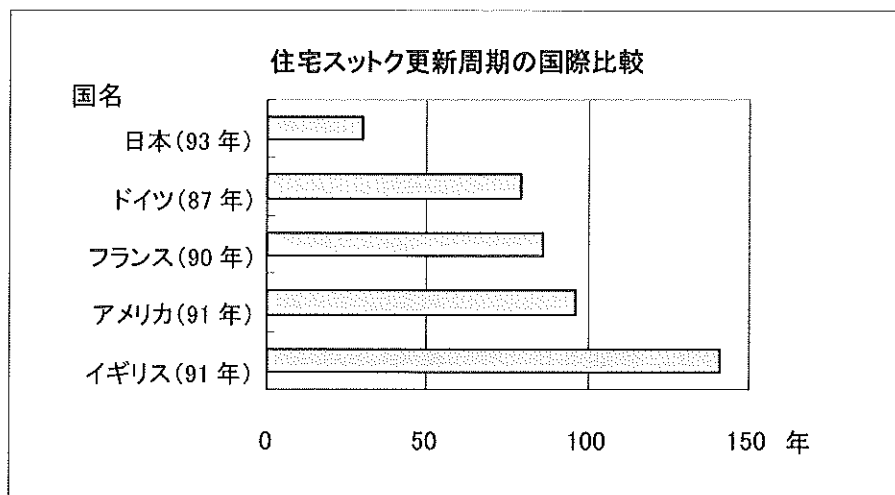
解体して無くなってしまふものにお金をかけたくないという発注者も存在し、それに対して発注者にどんなメリットがあるのかを明確にすることは以外に難しい。解体する経費の負担に対する責任などを明確にし、発注者へ向けて意識の高揚と啓蒙を行い意識改革が必要となる。そのためのPRや資料の作成などによる広報活動を行政や業界団体などが積極的に行い、現状とのギャップを埋める必要がある。

5. 独立業種へ向けて

(1) 建築物の老朽化に伴う解体工事量の増大

我が国では建築物の耐用年数が短い事や国土が狭いことによる土地の有効活用の観点から、欧米諸国に比べ極めて建物の使用期間が短い。(第4図参照)

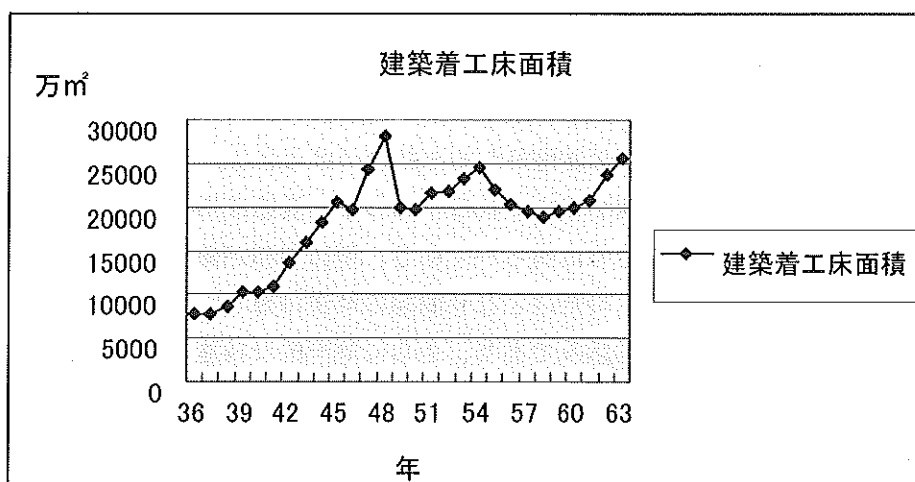
第4図



『平成5年住宅統計調査』総務庁

建築物が建築されて解体するまでの残存期間は、一説には木造住宅で約40年、非木造建築物で30年から40年程度と言われている。建築着工延べ床面積の推移をみると昭和36年代以降、建築着工面積は急激に増大している。(第5図参照)

第5図



『建築統計年報』

平成20年以降は、この時期(昭和40年代)に建築された建物が更新期を迎える。それらが解体対象になっている事が解体工事の増大のひとつの要因である。

前述のとおり、解体業は様々な問題を抱えたままであり、安全かつ品質の高い解体工事の遂行ができるのであろうか。現状の建設業において業種確立の必要性を最も優先すべき業種といえるであろう。

(2) 解体工事業が目指す理想の業態像

これまでの様々な問題を解決するとともに、見込まれる需要増へ適切に対応するために、解体業界はどのようにならなければならないのか。そのひとつの解答として、解体業者の目指すべき理想的な業態は、「解体工事業」として独立業種となる事である。究極は、完全に元請として発注者から直接解体工事を受注し、施工する形態になることである。産業廃棄物処理法の観点からも

解体業者が排出事業者（元請）となった方が法律の意図した形態であり、法律を遵守しやすい形態となる。将来的には、建設工事が建築・土木・解体と大きく3つに区分けされるのが理想的な形であろう。

アメリカでは、建築・土木工事ともに専門工事業者への分離発注が一般的であり、日本の建設業のようにゼネコンがひとつのプロジェクトで全ての工事を丸ごと一括で請負うケースは少ない。ゼネコンは、工事のコーディネートをするか、工事の管理のみを請負うのが仕事であり、受注金額および管理費用などは全てオープンとなっている。日本の解体業もアメリカの解体業のようになることが理想である。

6. まとめ（おわりにかえて）

これまで見てきたとおり、結論として時代変化に応じた法体系の整備が必要である。何もかもが自由では、諸問題が発生するのは当たり前である。適正な自由競争は否定しないが、一定のルールは必要である。新規参入を排除する方向ではなく、技術的にもモラル的にも一定のハードルを設ける事が重要である。

すでに不法投棄による環境破壊が社会問題となっている事や解体工事において第三者を巻き込んだ公衆災害で死傷者が出ているが対策が十分とはいえない。今後、工事量が増加していくことは間違いなく、結局は解体工事の発注者に多大な損害を与えることになり社会基盤整備に支障をきたしかねず国民生活への混乱が予測される。

解体工事における問題点と課題の解決には、建設業法・産業廃棄物処理法などの法体系の整備と解体工事専門の資格制度が必要であり、国家資格の設立が急務である。その資格制度は（社）全国解体工事業団体連合会が実施・運用している「解体工事施工技士」を国家資格にすることが最も望ましい形である。この資格を技術者要件とし、業種許可の認定を行い建設業種29番目の工事業として解体工事業を確立する必要があると結論づけられる。

国家資格制度が整備され、業種が確立すれば、おのずと資格取得者が増え、それができない不適格業者は排除されることになるのは明らかである。逆に業種が確立しなければ、解体業界のレベルアップは業者の自覚によるものだけとなり問題の解決は難しいであろう。どんな結果であれ解体工事は、工事量も増大する見込みであり、さらに専門的な技能や知識が必要とされている分野で社会基盤整備や循環型社会構築にとって重要な業種になっていることは疑いようのない事実であり早急な改革を必要としているのである。

業種が確立しようがしまいが、解体業者が元請として発注者から信頼され受注できる企業として経営審査事項の評点アップや資本力を高める努力、コンプライアンスを重視し社会的にもクリーンな業界とならなければならない。また、一般の国民へ向けて解体工事は、解体業者へ直接発注する風土づくりが必要不可欠あると考える。

【参考文献】

- 1) (社) 全国解体工事業団体連合会：『解体工事施工技士 研修テキスト』（改訂7版）
- 2) (社) 全国解体工事業団体連合会：平成22年度 解体工事に係る研究報告書
- 3) (財) 経済調査会：『環境に配慮した解体工事の設計と概算』
平成20年2月10日 初版発行 著者 青山謙一・菊池雅史・山口義弘
- 4) (社) 日本建築学会：『鉄筋コンクリート造建築物等の解体工事施工指針（案）・同解説』
1998年12月10日 第1版第1刷
- 5) (社) 全国解体工事業団体連合会：『会報メビウス』
- 6) 建設業災害防止協会：コンクリート工作物解体工事の作業指針
- 7) 建設業災害防止協会：建築物等の鉄骨組立て等の作業指針（建築鉄骨・その他編）
- 8) 建設業災害防止協会：木造建築物解体作業の安全
- 9) (株)日報アイ・ビー：隔月刊「イー・コンテクチャー」
- 10) (財) 経済調査会：『新・解体工法と積算』解体工法研究会編
平成15年6月30日 初版発行
- 11) 平成解体新書 2008年2月12日 初版第1刷 著者 桑原一男
- 12) 環境省ホームページ <http://www.env.go.jp/press/press.php?serial=13377>