劣悪コンクリートの簡易診断に関する実験的研究

EXPERIMENTAL STUDY ON A RAPID METHOD FOR DETECTION OF LOW QUALITY CONCRETE

畑中重光*, 和藤 浩**, 谷川 恭雄***

Shigemitsu HATANAKA, Hiroshi WATO and Yasuo TANIGAWA

Strength of concrete in actual structures is often judged lower than that used for structural design. It is considered to occur due to the illegal addition of water during casting procedure, insufficient compaction during construction, deterioration due to aging and severe atmosphere, etc. Such low strength concrete does not make harmful effect to a performance of structure as long as it is subjected to only service loads. Performance of structures in severe condition e.g. in large earthquakes, however, is easily predicted to be greatly affected by the strength of concrete. In the present study, a series of nondestructive tests has been carried out for finding the low strength and therefore low quality concrete in site. Testing items include scratched width by a steel nail, rebound number by a test hammer, ultrasonic velocity, etc. As a result, low quality concrete in structure may be found out rather easily by using such nondestructive testing methods. It is also pointed out that the scratching test is quite effective and easily handled considering the work in site.

Keywords: low strength concrete, low quality concrete, seismic diagnosis, scratching hardness, Young's modulus, carbonated thickness, hardness of surface, ultrasonic pulse velocity

低強度コンクリート、劣悪コンクリート、耐震診断、引っかかり硬さ、静弾性係数、中性化深さ、表面硬度、超音波速度

1. はじめに

構造体に打設されたコンクリートは、一般に施工時には設計基準強度を上回っており、かつ材齢が経過しても当初の強度を保持するものと考えられている。しかし、現実には、施工不良、経年劣化などによって構造体コンクリート強度が設計基準強度を下回っている可能性を否定することはできない(例えば1)~8)。常時の荷重下では、コンクリートが低強度であることが大きな問題になることは少ない。しかし、厳しい条件下、とくに、大地震時のコンクリート構造物の耐力や靱性は、コンクリート強度に大きく依存することは自明である。また、コンクリート構造物の非破壊試験は多種多様であり、研究(例えば9)~12)も盛んに行われているが、とくに低強度コンクリートの発見に注目した報告はほとんど見られない。

そこで本研究では、いわゆるシャブコン等によってできた劣悪なコンクリート(ここでは、水セメント比を大きくすることで得るものとした)を現場で比較的簡易に見極めるための一つの手段を得ることを目的として、2シリーズの実験を行った(13)~15)。すなわち、実験Ⅰでは、低強度コンクリートの力学的性質および中性化深さを調べ、実験Ⅱでは、低強度コンクリートを評価・発見するための非破壊試験法について検討した。なお、本研究の実験Ⅰは材齢7年、実験Ⅱは材齢6年までのコンクリートについて検討した結果である。また、本研究でとくに取り上げた釘を用いる引っかかり試験は、耐震診断のレベルでいえば、建物調査における目視調査に付随する形で

行える程度の簡易なレベルを想定している。

2. 低強度コンクリートに関連する調査研究

以下に、低強度レベルのコンクリートの実態を取り扱った調査結果の中から、主なものをいくつか紹介する。

(1) 大和田ら¹⁾の研究

建設年度が大正年間から昭和56年度に至るまでの文教施設を中心に、226施設についてコンクリートコアの圧縮強度試験を行い、データを分析・検討している(図-1参照)。その結果、1964年以前では、18MPa以下のものが約30%、それ以降では、約13%を占めていると報告している。

(2) 大野²⁾の研究

図-1 圧縮強度分布(大和田らによる)

本論文は、参考文献13)~15)に修正・加筆したものである。

* 三重大学工学部建築学科 教授・工博

** 三重大学工学部建築学科 技術専門職員

*** 名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻
教授・工博

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Mie Univ., Dr. Eng.
Technical Expert, Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Mie Univ.
Prof., Division of Environmental Engineering and Architecture, Graduate School of
Environmental Studies, Nagoya Univ., Dr. Eng.

兵庫県下の解体予定の公立学校 23 棟 (13 校) について、コンクリートコアの圧縮強度試験を行っている。その結果、建築基準法施行令第 74 条による 4 週圧縮強度下限値 12MPa を下回っているものが、1963 年以前竣工のもので 25%、1964～1968 年竣工のもので 16% あったと報告している。また、コア供試体が設計基準強度を下回る割合は、1968 年以降でも、およそ 15% になると報告している (図-2 参照)。

(3) (財) 日本建築総合試験所の研究³⁾

兵庫県南部地震以前に竣工し、震災を受けた構造物から採取されたコンクリートコアの竣工年度別の圧縮強度分布を調べている。その結果、1968 年以前において 10MPa 以下、それ以後においても 15MPa 前後の圧縮強度のものがあることが確認できたと報告している (図-3 参照)。

3. 実験方法

3.1 実験要因

本実験の要因を表-1 に示す。ここで、表中の水中養生とは、三重大学工学部建築学科実験室養生室内の水中養生 (20±2℃) を、屋外暴露とは、伊勢湾に面した 4 階建て同学科の建物の屋上 (常時露天 (日陰なし) 状態) で気中養生を行うことを示す。なお、試験体は、材齢 2 日後に脱型を行い、それぞれの養生を行った。試験体として、各材齢および養生条件ごとに、実験 I では、φ10×20cm の円柱体を、実験 II では、圧縮試験用に φ10×20cm の円柱体を、診断用 (反発硬度、引っかかり、超音波速度の各試験用) に 15×15×26cm の角柱体を用いた。

図-2 コアの圧縮強度が設計基準強度 F_c を下回る確率 (大野による)

表-1 実験要因

強度レベル (MPa)	養生方法	材齢*	測定項目
5 8 12 24	水中養生 屋外暴露*	28 日	実験 I ・圧縮強度 ・静弾性係数 ・中性化深さ
		91 日	実験 II ・圧縮強度 ・引っかかり試験 ・硬度棒 (材齢 28 日～) ・市販の釘 (材齢 1 年～) ・仕上学会方式 (材齢 6 年～)
		1 年	
		6 年 (7 年)	・反発硬度 (N 型、P 型ハンマ) ・超音波速度

注) *: 実験 I は材齢 7 年に、実験 II は材齢 6 年に実験を行った。

3.2 コンクリート試験体の製作

本実験で使用したコンクリートの使用材料の性質を表-2 に示す。また、コンクリートの調合表を表-3 に示す。コンクリートの調合は、実験 I および II とも同一とした。目標スランブは 20cm とし、すべてワーカブルなコンクリートとした。一般には、低強度コンクリートに高性能 AE 減水剤を使用することはないと言えるが、本実験では、目標スランブを満足させる手段として、どのコンクリートについても一貫して高性能 AE 減水剤を用いることとした。コンクリートの打込みは、実験 I では、平成 7 年 9 月中旬から下旬にかけて、実験 II では、平成 8 年 11 月下旬から 12 月上旬にかけて、それぞれ強度レベルの低いものから製作した。

3.3 各実験方法の概要

それぞれの実験の载荷、測定方法等の概要を表-4 にまとめている。なお、水中養生試験体については、すべて 1 日間室内で乾燥した後、各試験に供した。

(1) 引っかかり試験

コンクリート角柱体の打込み側面を、硬度棒 (黄銅棒、直径 φ1.6mm、硬度 65H_B) および市販の比較的細い釘と太い釘 (釘の形状等を図-4 に示す) の 2 種類を先端部は加工せず、そのまま使用して、本実験のために製作した図-5 に示す簡易な装置を用いて引っかいた。おもりの重さは、硬度棒を用いる試験では 10N、釘を用いる試験では、人の力の大きさ (後述) を含むと考えられる範囲、すなわち 1～15N の間で変化させた。また、この他に、人が釘で直接引っかいた場合 (ごく弱い力: 1N 相当、強い力: 15N 相当) についても実験を行い、本装置を使用した場合のデータと比較した。また、

図-3 竣工年度別コア・コンクリートの圧縮強度分布 ((財) 日本建築総合試験所による)

表-2 使用材料の性質

種類	物性
セメント	普通ポルトランドセメント (密度: 3.16g/cm³)
細骨材	川砂 (岩種: 硬質砂岩、最大寸法: 5mm、表乾密度: 2.62g/cm³、F.M.: 3.10、吸水率: 1.52%、破砕値: 19.2%)
粗骨材	砕石 (岩種: 硬質砂岩、最大寸法: 13mm、表乾密度: 2.66g/cm³、F.M.: 6.62、吸水率: 0.60%、破砕値: 17.6%)
混和剤	高性能 AE 減水剤 (ポリカルボン酸塩系)

表-3 コンクリートの調合表

F_c (MPa)	W/C (%)	s/a (%)	質量 (kg/m³)				SP/C (%)	SL (cm)
			W*	C	S	G		
5	110	52	200	182	956	896	0.05	20
8	90	50	190	211	921	935	0.1	
12	70	48	180	257	879	967	0.2	
24	55	46	170	309	834	994	0.4	

注) F_c : 目標圧縮強度、 W/C : 水セメント比、 s/a : 細骨材率、 W : 水+高性能 AE 減水剤 (SP)、 C : セメント、 S : 細骨材、 G : 粗骨材、 SL : 目標スランブ

表-4 各実験方法

測定項目		実験方法
実験 I	圧縮強度	JIS A 1108 に準拠した（偏心を避けるため球座を使用）。試験体の本数は各2本。
	静弾性係数	ひずみゲージを貼付して、最大荷重/3 の時点で算出した。
	中性化深さ	屋外暴露を行った円柱体を割裂し、フェノールフタレン 1%アルコール溶液を噴霧し、打込み側面の各5箇所をノギスで測定し、平均値を求めた。
実験 II	圧縮強度	JIS A 1108 に準拠した（偏心を避けるため球座を使用）。試験体の本数は各2本。
	引っかかり硬さ	硬度棒、市販の釘および日本建築工学会の引っ掻き試験器でコンクリートの表面を引っかかり、キズの幅を調べた。 (1) 硬度棒：骨材の引っかかり試験(JIS A 1126)に準拠し、硬度棒(黄銅棒、直径φ1.6mm、硬度 65H _B)を使用して、簡易な装置(図-5)を用いて約 10N の垂直力を加えて引っ掛いた。 (2) 釘：図-4 の釘を使用して、簡易な装置(図-5)および指の力を用いて 1~15N の垂直力を加えて引っ掛いた。 (3) 引っ掻き試験器：日本建築工学会の引っ掻き試験器（垂直力：4.9N、9.8N）を用いて引っ掛いた。
	反発硬度	試験体に 0.7MPa (圧縮応力による反発硬度の補正係数が0になる大きさ) の応力を加え、N 型および P 型ハンマを用いて、打込み側面でそれぞれ 10 点ずつ測定した。
	超音波速度	角柱体の打込み側面の相対する 3 点について、直接伝達法で測定した。

図-4 使用した釘の形状・材質

図-6 静弾性係数と圧縮強度の関係

図-7 中性化深さと材齢の関係

この他にも日本建築工学会の引っ掻き試験器^{16), 17)}を用いた試験も実施した。なお、市販の釘を用いた試験については、測定1回ごとに釘を取り替えた。

なお、硬度棒を用いた実験は材齢 28 日より、市販の釘を用いた実験は材齢 1 年より、日本建築工学会の引っ掻き試験器を用いた実験は材齢 6 年にそれぞれ行った。

(2) その他の試験

各試験の载荷、測定方法について、表-4 にまとめて示す。

4. 実験結果とその考察

以下、図中の凡例等で使用する試験体名は、以下に示した記号に準ずる。

W：水中養生、A：屋外暴露、D：材齢(日)、Y：材齢(年)

4.1 実験 I

4.1.1 静弾性係数と圧縮強度の関係

静弾性係数と圧縮強度の関係を図-6 に示す。図中では、材齢 28 日から 7 年のデータを同一記号で示してある。また、図中の曲線は、日本建築学会鉄筋コンクリート(RC)構造計算規準(1996 年版)に示された静弾性係数の評価式において、コンクリートの密度を 2.3 (g/cm³) の一定とした場合の計算値を表したものである¹⁸⁾。RC 規準式は、コンクリートの圧縮強度が 40MPa を超える場合は、実験値を過大評価することが指摘されているが(1999 年版では、評価式の改訂が行われた)、圧縮強度が 10MPa を下回るような低強度コンクリートに対する適用性については十分な検討がなされているとはいえない。図によれば、普通強度のみならず低強度においても、計算値は材齢に関係なく実験値と比較的よく一致している。また、全体的

図-5 引っかかり試験に用いた装置

に見て水中養生試験体の方が屋外暴露試験体よりも同一圧縮強度時の静弾性係数が大きくなる傾向が見られる。

4.1.2 中性化深さ

屋外暴露した試験体について、中性化深さと材齢の関係を図-7 に示す。図によれば、材齢 28 日から材齢 7 年まで、中性化深さは強度レベルが低くなるにつれて大きくなっている。また、材齢 28 日から材齢 7 年の中性化深さの進行も強度レベルが低くなるほど大きくなっている(5MPa レベルで 7.0 倍、8MPa レベルで 4.4 倍、12MPa レベルで 4.0 倍、24MPa レベルで 3.1 倍)。ちなみに、施工条件や環境条件も影響するので、あくまで参考ではあるが、材齢 7 年の実測値

図-8 キズの幅と圧縮強度の関係
(装置使用、硬度棒)

(a) 水中養生

(b) 屋外暴露

図-9 キズの幅と圧縮強度の関係 (装置使用、太い釘)

(a) 水中養生

(b) 屋外暴露

図-10 キズの幅と圧縮強度の関係 (装置使用、細い釘)

図-11 キズの幅と圧縮強度の関係 (装置と人の力との比較、垂直力 15N、太い釘)

(8.4~29.3mm) と岸谷式¹⁹⁾の計算値 (4.6~11.7mm) とを比較したところ、前者は後者のおおよそ 1.8~2.5 倍であった。

4.2 実験Ⅱ

以下に、非破壊試験 (引っかかり硬さ、反発硬度、超音波速度) の結果について述べる。

前述したように本実験は、低強度コンクリートを現場で簡易に評価・発見することを検討したものである。なお、本報では、圧縮強度がおおよそ 15MPa 以下のコンクリートを低強度コンクリートと呼ぶこととする。

4.2.1 引っかかり試験

(1) 硬度棒 (装置使用)

コンクリート表面に対する垂直力を 10N とした場合の硬度棒による引っかかり試験の結果を図-8 に示す。図によれば、引っかかりキズの幅は、材齢にかかわらずコンクリートの強度レベルが低くなるにつれて大きくなり、同じ強度レベルでは、水中養生を行った試験体の方が屋外暴露を行った場合より大きくなる傾向がある。また、これらの関係に及ぼす材齢の影響はあまり明確には見られなかった。なお、硬度棒の場合は、測定により先端部に丸みを帯びるなどの消耗の影響もあると考えられる。

(2) 市販の釘 (装置使用)

市販の釘を用い、1~15N の垂直力を加えた場合の引っかかり試験の結果を図-9 および図-10 に示す。なお、凡例中の数値は、おもりの重さ (垂直力) を示している。これらの図によれば、引っかかりキズの幅は、材齢にかかわらず、垂直力が大きいほど大きい。また、垂直力が小さいほど、コンクリートの圧縮強度が大きいほど、グラフの傾きが小さくなる。すなわち、垂直力が 1N 以下であったり、コンクリートの圧縮強度が 15MPa 以上であったりすると、圧縮強度の変動に対するキズの幅の変化が明瞭でなくなり、強度推定上、不都合となる。

材齢 1 年 (黒マーク) と材齢 6 年 (白マーク) の結果を比較すると、材齢 6 年まで屋外暴露を行った試験体 (図-9 (b)、10 (b) 参照) では、強度レベル 5MPa~12MPa においてキズの幅に増加が見られたが、その他の試験体については、あまり明確な差がないといえる。この理由として、屋外暴露を行った試験体では、経年 (材齢 1 年~6 年) とともに表層強度が低下したことが考えられる。また、その傾向は、強度レベルが低くなるのに従って顕著になると考えられる。

(3) 市販の釘 (人の力)

市販の釘を用い、垂直力をおおよそ 15N として人の力で引っかかりた場合と装置を用いた場合との比較を図-11 に示す。図によれば、若干のばらつきはあるものの、材齢にかかわらず、人の力と装置を

図-12 日本建築士学会方式によるキズの幅と圧縮強度の関係 (文献 17 の図に加筆)

図-13 引っかけ試験結果の概要

材料学会式: $F_c (\text{kgf/cm}^2) = 13R - 184$ 、養生補正 (水中): $\Delta R = 5 \sim 10$ 、材齢補正 (1年): $F_c \times 0.69$ 、材齢補正 (6年): $F_c \times 0.64$

図-14 圧縮強度と反発硬度の関係 (N型ハンマ)

材料学会式: $F_c (\text{kgf/cm}^2) = 7.39R - 166.7$ 、養生補正 (水中): $\Delta R = 5 \sim 10$ 、材齢補正 (1年): $F_c \times 0.69$ 、材齢補正 (6年): $F_c \times 0.64$

図-15 圧縮強度と反発硬度の関係 (P型ハンマ)

用いた場合の引っかけキズの幅に顕著な差は見られなかった。なお、図には示していないが、太い釘で垂直力を1Nとして引っかけた場合、および細い釘 (垂直力1Nおよび15N) で引っかけた場合も、両者の間に顕著な差は見られなかった。すなわち、材齢にかかわらず、人の力の大きさを事前に把握しておけば、上記の装置を用いた場合と同様に、引っかけキズの幅から低強度コンクリートの圧縮強度をお

およそ推定・評価することができそうである。

(4) 日本建築士学会方式 (引っ掻き試験器使用)

日本建築士学会の引っ掻き試験器を用いて測定した引っかけキズの幅と強度の関係を図-12に示す。図には、既往の文献¹⁷⁾の試験結果に、材齢6年の本実験結果を加筆してある。図のように、日本建築士学会の引っ掻き試験器による引っかけキズと圧縮強度

図-16 圧縮強度と音速の関係 (材齢 28 日～材齢 6 年)

図-17 圧縮強度と音速の関係 (全データ)

の関係は、既往の研究結果¹⁷⁾とほぼ一致した。なお、水中養生試験体では、屋外暴露試験体に比べ、引っかかりキズ幅がわずかに大きくなる傾向が見られる。

(5) まとめ

以上の引っかかり試験結果を定性的に把握するため、引っかかりキズとコンクリートの圧縮強度との関係に及ぼす諸要因の影響を模式的に示せば図-13 になる。

15MPa 以下のような低強度コンクリートの評価・発見という観点からすれば、キズの幅が圧縮強度の変動に対して、より敏感となる条件のもとで試験を行うことが望ましいといえる。上記の検討結果の範囲では、市販の釘を用いる場合、垂直力を 10N 以上とし、釘は太目のもの（ここでは、胴部径 2.45mm）を用いるのが良い。また、本研究と時期を同じくして検討された日本仕上学会の引っ掻き試験も有効な装置である。いずれにせよ、引っかかり試験を行う際には、本実験で示された諸要因の影響を踏まえたうえで、キズの幅の評価を行うことが望ましい。

4.2.2 反発硬度

低強度レベルのコンクリートの強度推定に着目した研究は、これまでほとんどなされておらず、反発硬度を用いた主な推定強度式の基礎データの測定範囲は、おおそ 15MPa 以上である場合が多い。本実験では、N 型および P 型ハンマを用い低強度コンクリートの評

表-5 低強度コンクリート*発見のための判断基準の例 (参考値)

試験法		屋外暴露	水中養生
ひっかかり硬さ	垂直力 10N 太い釘**	0.4mm 以上	0.7mm 以上
	垂直力 15N 太い釘**	0.5mm 以上	0.8mm 以上
反発硬度***	N 型	材齢 28 日	R=25 以下
		材齢 1～6 年	R=30 以下
	P 型	材齢 28 日	R=45 以下
		材齢 1～6 年	R=50 以下
超音波速度	直接伝達法	3.2km/s 以下	3.5km/s 以下

注) *: 15MPa 程度以下、**: 胴部径 2.45mm

***: 水平打撃

価・発見の可能性について調べた。

N 型および P 型ハンマによる材齢 28 日、1 年、および 6 年のコンクリートの圧縮強度と反発硬度の関係を図-14 および図-15 に示す。図中には、強度推定において比較よく使用されている日本材料学会式による計算値（式中の kgf/cm^2 を MPa に換算してある）と材齢を考慮した推定値（材齢 1 年： $F_c \times 0.69$ 、材齢 6 年： $F_c \times 0.64$ ）を併示してある。また、図-14 の N 型ハンマについては、養生方法による補正值 (ΔR : 5～10) を加味した推定値を併示してある。なお、P 型ハンマについては、養生方法に対する補正方法が提案されていないため、ここでは、N 型ハンマの補正方法を参考にして、図-15 に示すように、実験値 R_0 に補正值 ΔR (ここでは、5～10) を割増した。

これらの図によれば、材齢 1 年までの本実験結果は、養生方法にかかわらず、材料学会式に上記の補正を加えることで比較的良く推定できそうである。しかし、材齢 6 年では、いずれのハンマを用いた場合も 20MPa 以上のコンクリートは推定値が実際の圧縮強度を大きく下回っている。一方、低強度コンクリートの圧縮強度に関しては、材料学会式をそのまま適用してもある程度の推定精度が得られそうである。ただし、本研究の主要な目的は劣悪コンクリートの発見にある。この観点からの検討は、4.2.4 でまとめる。

4.2.3 超音波速度

圧縮強度と音速の関係を図-16 および図-17 に示す。図-16 によれば、材齢にかかわらず超音波速度と圧縮強度の関係は、強い相関性を示している。全材齢のデータに対する関係を示した図-17 によれば、相関係数は若干小さくはなるものの、超音波速度も低強度コンクリートを評価・発見する手段として十分有用と考えられる。

4.2.4 低強度コンクリート発見のための判断基準

圧縮強度が 15MPa 程度以下の低強度コンクリートを見極める、またはその手掛かりを得るという観点から、以上の実験データを整理する。養生条件など限られたデータではあるが、本実験で得られた各種非破壊試験の結果に基づき、低強度コンクリートを発見するためのおおよその判断基準を示せば、表-5 のようになる。なお、反発硬度の基準値については、既往のデータ^{11), 19)}も参考にした。

なお、本実験と諸条件が異なる場合には、表-5 にまとめた 3 つの試験法の基準値が必ずしも妥当であるとは考え難い。したがって、3 つの試験法による値のうちの一つでも基準値をおかしていれば、低強度コンクリートの可能性があると考えるのが妥当であろう。ここで、本研究で取り扱った試験方法を簡易なレベルから並べると以下ようになる。

引っかけ試験 → 反発硬度試験 → 超音波速度試験

劣悪コンクリートを発見するための手順としては、まず、引っかけ試験を行い、その結果が基準値をおかした場合には、反発硬度や超音波速度を測定すれば良いと考えられる。

5. まとめ

これまで必ずしも十分には調査・研究が行われてこなかった低強度(劣悪)コンクリートについて、これを現場で見極める手段を得ることを目的として一連の実験を行い、以下のような知見を得た。なお、本研究で取り扱った試験方法を簡易なレベルから順に並べると以下ようになる。

引っかけ試験 → 反発硬度試験 → 超音波速度試験

- 1) 引っかけキズとコンクリートの圧縮強度との関係に及ぼす諸要因の影響を模式的に示せば図-13 のようになる。また、引っかけ試験を行う際には、本実験で示された諸要因の影響を踏まえたうえで、キズの幅の評価を行うことが望ましい。
- 2) 市販の釘を用いて、コンクリートの表面を人の指の力で引っかいた場合の引っかけキズの幅は、コンクリートの圧縮強度によってかなり異なり、その差異は、コンクリート強度が低くなるほど明確になる。すなわち、15MPa 程度以下の低強度コンクリートの圧縮強度は、材齢に関係なく、現場においても、引っかけ試験によってある程度推定できる。
- 3) 限られた実験データではあるが、本研究結果によれば、耐震診断の第 1 段階で行う建物の目視調査のレベルで引っかけ試験を導入することも有用ではないかと考えられる。
- 4) 低強度コンクリートの評価・発見には、引っかけ試験に加えて反発硬度法や超音波速度法も適用することができる。圧縮強度がおおよそ 15MPa 程度の低強度コンクリートを発見するための判断基準の参考値として、表-5 の値が得られた。
- 5) 得られた判断基準(参考値)は、養生条件など本実験の範囲内で検

討したものである。今後は、低強度コンクリートを発見するための判断基準の汎用性をさらに高めるため、より幅広くデータを蓄積するとともに、現場実験や実大モデル実験を行っていく必要がある。

【謝辞】

本研究に際し、ご助力を得た岩瀬文夫氏(総合コンクリートサービス・代表取締役)および三島直生氏(三重大学・助手)に深謝します。なお、本研究費の一部は、(財)日本建築センターの平成 9 年度「岸谷国際建築材料防火技術研究基金」および平成 10 年度文部省科学研究費補助金・奨励研究(B)によったことを付記します。

【参考文献】

- 1) 大和田義正、木村秀雄：既存コンクリートの強度特性に関する研究、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp. 791-792、1997. 9.
- 2) 大野義照：RC 造の被害状況と材料施工の問題点、施工における品質管理、日本建築学会材料施工委員会、pp. 2-20、1996. 9.
- 3) 日本建築総合試験所：兵庫県南部地震被災構造物から採取されたコンクリート・コア、鉄筋およびガス圧縮継手の受託強度試験の集計、pp. 25-32、1996. 6.
- 4) 木村芳幹、平澤一郎、秦邦晃、大嶋章：阪神地域の構造体コンクリートの品質、コンクリート工学年次論文報告集、Vol. 19、No. 1、pp. 691-696、1997. 6.
- 5) 今淳、最知正芳、伊藤敬一、三橋博三、田中礼治、柴田明德：東北地方の既存 RC 造建物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究(その 4-コンクリート強度の分布)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp. 295-296、2000. 9.
- 6) 工藤仁、最知正芳、伊藤敬一、三橋博三、田中礼二、柴田明德：東北地方の既存 RC 造建物の耐震診断および耐震補強に関する調査研究(その 5-建設年・建物階層別のコンクリートの強度)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp. 297-298、2000. 9.
- 7) 村岡康祐、瓦井一邦、寺本隆幸：東京都の既存 RC 造校舎の耐震診断・補強に関する調査研究(中間報告)(その 1 建物概要とコンクリート強度)、日本建築学会大会学術講演梗概集、C-2、pp. 787-788、2001. 9.
- 8) 池口義治、瀧口克己：戸建て住宅の現場打ちコンクリート基礎の経年による劣化状況診断、日本建築学会構造系論文集、No. 558、pp. 39-43、2002. 8.
- 9) 柏忠二：コンクリートの非破壊試験法、富士物産、1981. 3.
- 10) コンクリートの非破壊試験法研究委員会：コンクリートの非破壊試験法に関するシンポジウム論文集、日本コンクリート工学協会、1991. 4.
- 11) コンクリートの非破壊試験法研究委員会：コンクリートの非破壊試験法に関する各種規程(草案)、コンクリートの非破壊試験法研究委員会報告書、日本コンクリート工学協会、1992. 3.
- 12) 日本コンクリート工学協会：コンクリート便覧(第 2 版)、1996. 2.
- 13) 王曉梅、和藤浩、畑中重光、谷川恭雄：劣悪コンクリートの簡易診断に関する実験的研究(その 1：実験方法及び実験結果 1)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 623-624、1997. 9.
- 14) 和藤浩、王曉梅、畑中重光、谷川恭雄：劣悪コンクリートの簡易診断に関する実験的研究(その 2：実験結果 2)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 625-626、1997. 9.
- 15) 和藤浩、畑中重光、谷川恭雄：劣悪コンクリートの簡易診断に関する実験的研究(その 3：市販の釘の適用性)、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 521-522、1998. 9.
- 16) 建築研究所：引っかけ傷によるコンクリートの表面強度試験方法(案)、既存マンション躯体の劣化度調査・診断技術マニュアル(案)、pp. 152-153、2001. 7.
- 17) 湯浅昇、笠井芳夫、松井勇：引っかけ傷によるコンクリートの表面強度測定方法、日本建築学会大会学術講演梗概集、A-1、pp. 677-678、1999. 9.
- 18) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説、1998. 2.
- 19) 谷川恭雄、他：構造材料実験法(第 2 版)、森北出版、1996. 3.

(2003 年 2 月 3 日原稿受理、2003 年 8 月 19 日採用決定)