

論文 劣悪コンクリートの簡易診断方法に関する実験的研究

和藤 浩*1・王 曉梅*2・畑中重光*3・谷川恭雄*4

要旨：阪神大震災以後に明らかになった低強度コンクリートの実態について調べること、および極めて低強度の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）を現場等で簡易に見極める手段を得ることを目的として文献調査並びに実験を行った。すなわち、本研究では、昨年度に引き続き、材齢1年までの強度レベルの異なるコンクリート（強度レベル：5～24MPa）について硬度棒、市販の釘等によるコンクリート表面のひっかきキズ、反発硬度（N型、P型ハンマー）、超音波速度などを測定し、非破壊的にかつ簡易に低強度（劣悪）コンクリートを見極める方法について検討した。
キーワード：低強度コンクリート、耐震診断、ひっかき硬さ、反発硬度、超音波速度

1. はじめに

コンクリート構造物の強度は、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。

著者らは、これまで現場等で劣悪なコンクリート（本実験では、水セメント比を大きくすることで得るものとした）を比較的簡易な手法で見極めることを目的として、一連の実験を行ってきた¹⁾。

本研究では、まず、低強度コンクリートに関連する既往の研究についてレビューする。次に、昨年度検討した各方法のうち、もっとも簡易な方法であるひっかき試験について、実際の現場への適用を目指した詳細な検討を行う。また、昨年度報告した各種実験結果（ひっかき試験、反発硬度、超音波速度）に及ぼす材齢の影響についても報告する。

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ている最近の調査結果を紹介する。

(1)大和田ら²⁾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・検討した（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³⁾の研究

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た。その結果、建築基準法施行令第74条に

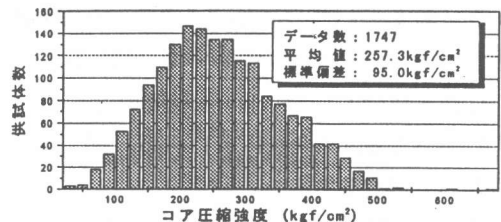


図-1 圧縮強度分布（大和田らによる）

* 1 三重大学技術官 工学部建築学科（正会員）
 * 2 三重大学大学院 工学研究科建築学専攻
 * 3 三重大学教授 工学部建築学科 工博（正会員）
 * 4 名古屋大学教授 工学研究科建築学専攻 工博（正会員）

よる4週圧縮強度下限値の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⁴⁾

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た。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

本実験は、昨年度既に報告¹⁾した実験II(材齢28日まで)の継続(材齢1年まで)、およびひっかき試験に関する追加実験より成る。そのため、本節では、ひっかき試験以外は概要を記すにとどめ、詳細は文献¹⁾に譲る。

3.1 実験要因

本実験の要因を表-1に示す。ここで、測定項目のうち、ひっかき試験については、昨年度と同じ硬度棒を用いた試験に加え、釘を用いた試験を実施した。

3.2 供試体の製作

本実験で使用したコンクリートの調合表を表-2に示す。目標スランプは、20cmとし、すべてワーカブルなコンクリートとした。

供試体は、各材齢及び各養生条件ごとに圧縮試験用に $\phi 10 \times 20$ cmの円柱体を2体、診断用(反発硬度、ひっかき、超音波速度の各試験用)に $15 \times 15 \times 26$ cmの角柱体を1体製作した。

3.3 各実験方法

それぞれの実験の载荷・測定方法等の概要を表-3にまとめて示す。

(1)ひっかき試験

コンクリート角柱体の打込み側面を、硬度棒(黄銅棒、直径 $\phi 1.6$ mm、硬度65HRB)及び市

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種類を使用して、本実験のために製作・改良した図-5に示す簡易な装置を用いてひっかいた。おもりの重さは、硬度棒を用

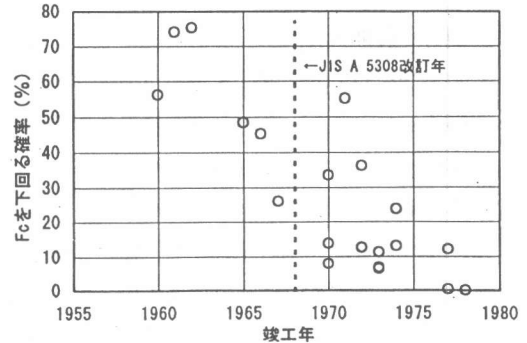


図-2 コアの圧縮強度が設計基準強度 F_c を下回る確率(大野による)

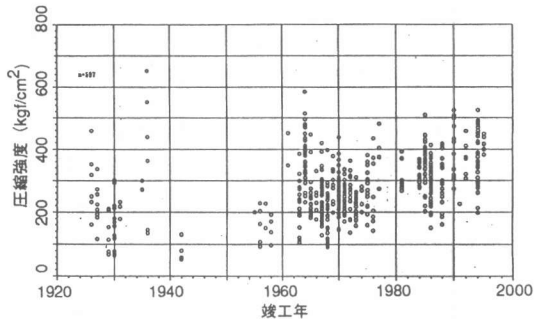


図-3 竣工年度別コア・コンクリートの圧縮強度分布(財)日本建築総合試験所による

表-1 実験要因

強度レベル (MPa)	養生方法	材令	測定項目
5	水中養生 (W)	28日	・圧縮強度 ・ひっかき試験
8		3ヶ月	
12	屋外暴露 (A)	1年	・反発硬度 ・超音波速度
24		10年	
		30年	

注) 供試体名: (例) 24 W—水中養生
強度レベル (MPa)

表-2 コンクリートの調合表

F_c (MPa)	W'/C (%)	S/a (%)	重量 (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	20
12	70	48	180	257	879	967	0.2	20
24	55	46	170	309	834	994	0.5	18

注) F_c : 目標圧縮強度, W'/C : ホセメント比, S/a: 細骨材率, W' : 水+高性能AE減水剤, C: セメント, S: 細骨材, G: 粗骨材, SP: 高性能AE減水剤, SL: 実測スランプ

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、人が釘で直接ひっかいた場合（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。

(2)その他の試験

圧縮強度、反発硬度、および超音波速度試験の方法については、表-3を参照されたい。

4. 実験結果および考察

(1)ひっかき試験

硬度棒（装置使用）及び市販の釘（装置使用及び人の力）を用いて測定したひっかきキズとコンクリートの圧縮強度の関連性を調べた。なお、釘を用いた場合には、ひっかきキズの深さを精確に測定することは極めて困難であるため、キズの幅のみ考察の対象とした。

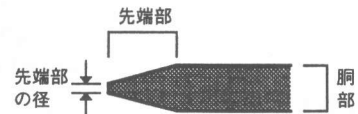
1)硬度棒

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ひっかき試験の結果を図-6に示す。図によれば、ひっかきキズは、コンクリートの強度レベルが低くなるにつれて、広く深くなる。また、同じ強度レベルでは、水中養生を行った供試体の方が空中養生を行った場合よりひっかきキズが広く深くなる傾向がある。また、これらの関係に及ぼす材齢の影響は

あまり顕著には見られない。

2)市販の釘（装置使用）

1～15Nの垂直力を加えた場合の市販の釘によるひっかき試験の結果を図-7に示す。図によれば、釘の太さ（胴部径：1.90および2.45mm）に関わらず、おもりが重いほどキズの幅は大きい。また、おもりの重量が1Nと小さかったり、コンクリートの圧縮強度が15MPa



	種類	材質	胴部形状	胴部径 (mm)	先端部長さ (mm)	先端部の径* (mm)
細い釘	鉄丸釘	鉄	スムーズ	1.90	3.33	0.37
太い釘				2.45	4.79	0.64

注) *: 先端部の径以外は、JIS A 5508による。

図-4 使用した釘の形状・材質

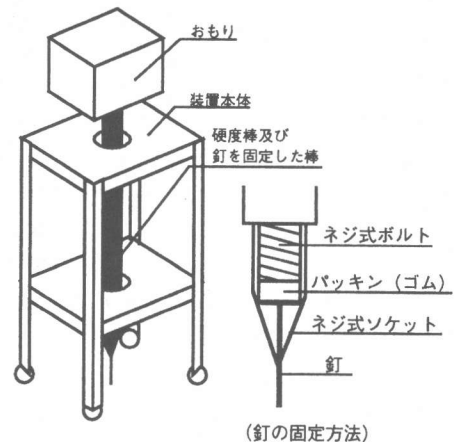


図-5 ひっかき試験に用いた装置

表-3 各実験方法の概要

測定項目	実験方法
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）。供試体本数は各2本。
ひっかきキズ	硬度棒または釘でコンクリートの表面をひっかき、キズの幅（クラックスケール及びノギスを使用）、深さ（ノギスを使用）、棒への粉の付き方（目視及び電子顕微鏡を使用）を調べた。 (1)硬度棒：骨材のひっかき試験（JIS A 1126）に準拠し、硬度棒（黄銅棒、直径φ1.6mm、硬度65HRB）を使用した簡易な装置を用いて約10Nの垂直力を加えてひっかいた。 (2)釘：図-4の釘を用いて、約1～15Nの垂直力を加えてひっかいた。
反発硬度	供試体に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型及びP型ハンマーを用いて、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。

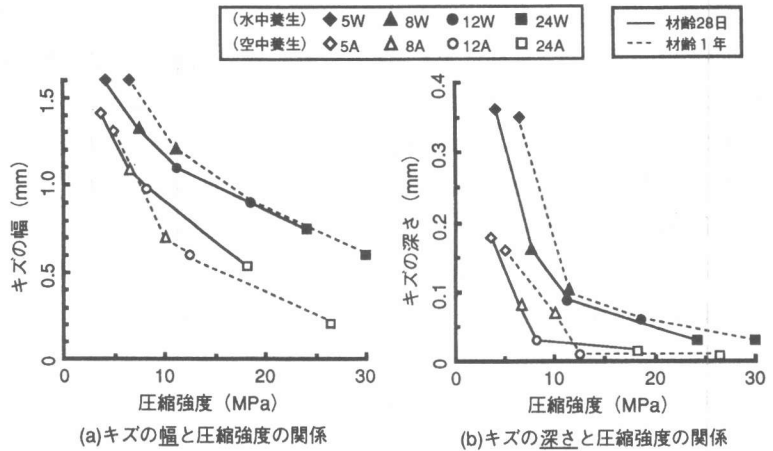
以上と大きかったりすると、グラフの傾きが小さくなる。すなわち、圧縮強度の変動に対するキズの幅の変化が明瞭でなくなり、強度推定上、不都合であることが分かる。

図には示していないが、水中養生を行った供試体の場合にも、キズの幅が空中養生を行った供試体に比べて大きくなることを除けば、図一七とほぼ同様な傾向が得られている。

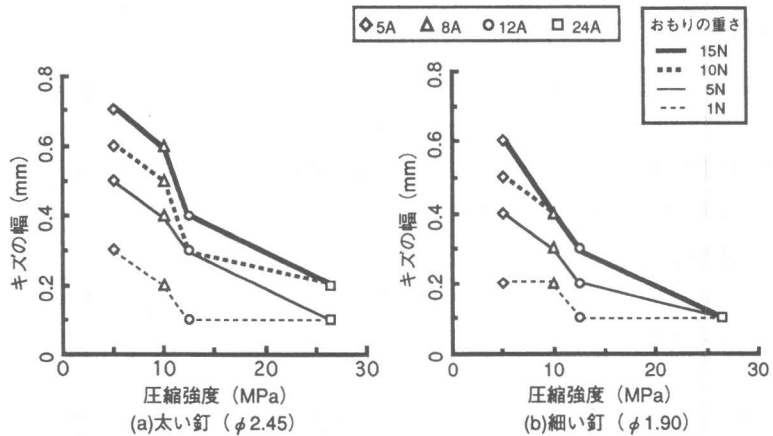
3)市販の釘 (人の力)

人の力 (強い力: 15 N相当) でひっかいた場合と装置 (おもりの重さ: 15N) を用いた場合との比較を図一八に示す。図によれば、いずれの釘径の場合も、双方の測定結果に顕著な差は見られなかった。また、図には示していないが、ごく弱い力 (1 N相当) でひっかいた場合も、両者の間に顕著な差は見られなかった。

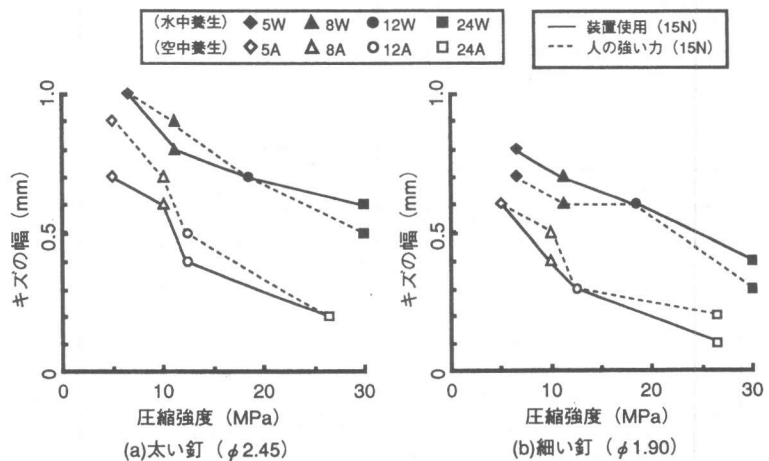
すなわち、人の力の大きさを事前に把握しておけば、上記の装置を用いた場合と同様に、ひっかきキズの幅から低強度コンクリートの圧縮強度をおおよそ推定・評価することがで



図一六 ひっかき試験の実験結果 (硬度棒, 垂直力: 10N)



図一七 ひっかき試験の実験結果 (釘, 装置使用, 材齢 1年, 空中養生)



図一八 ひっかき試験の実験結果 (釘, 装置と人の比較, 材齢 1年)

きそうである。

4)まとめ

以上、これらのひっかき試験結果を定性的に把握するため、ひっかきキズの傾向を表-4にまとめて示す。

(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強度推定式⁵⁾の基礎データの測定範囲は、およそ15MPa以上である場合が多い。本実験では、N型及びP型ハンマーを用いた強度推定方法の低強度レベルでの適用性について調べた。

N型及びP型ハンマーによる材齢28日～1年のコンクリートの圧縮強度と反発硬度の関係をそれぞれ図-9及び図-10に示す。なお、材齢28日と91日の図中には、本実験と同様な条件で行った追加実験の結果も同時に示してある。また、図中には、日本材料学会の強度推定式⁶⁾による計算値(式中の単位kgf/cm²をMPaに換算してある)を併示してある。それぞれの推定式を以下に示す。

・N型ハンマー

$$F_c = 13R - 184 \quad (\text{材料学会式}) \quad (1)$$

・P型ハンマー

$$F_c = 7.39R - 166.7 \quad (\text{材料学会式}) \quad (2)$$

ここに、 F_c :推定圧縮強度、 $R = R_0 + \Delta R$ 、 R :補正後の反発硬度、 R_0 :実験値、 ΔR :補正值

図-9及び10には、材齢を考慮した補正值(材齢91日: $F_c \times 0.79$ 、材齢1年: $F_c \times 0.69$)を、図-9には、養生方法を考慮した補正值(ΔR :5~10)を加味した推定値を併示してある。なお、P型ハンマーについては、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型ハンマーの補正方法を参考にして、図-10に示すように実験値 R_0 に補正值 ΔR (ここでは、5~10)を割り増した。

これらの図によれば、材齢1年まで空中養生を行った低強度コンクリートの圧縮強度は、20MPa以上のコンクリートにP型ハンマーを用いた場合を除いて、材料学会式をそのまま適用しても比較的精度良く推定できそうである。また、水中養生を行った供試体については、図中に示したように補正值($\Delta R = 5 \sim 10$)を適当に加えることにより、かなり推定精度が向上すると考えられる。

表-4 ひっかき試験結果の概要

影響要因	ひっかきキズ	
	幅	深さ
強度 (低→高)	↘	↘
養生方法 (屋外→水中)	↗	↗
材 齢 (初期→長期)	→	→

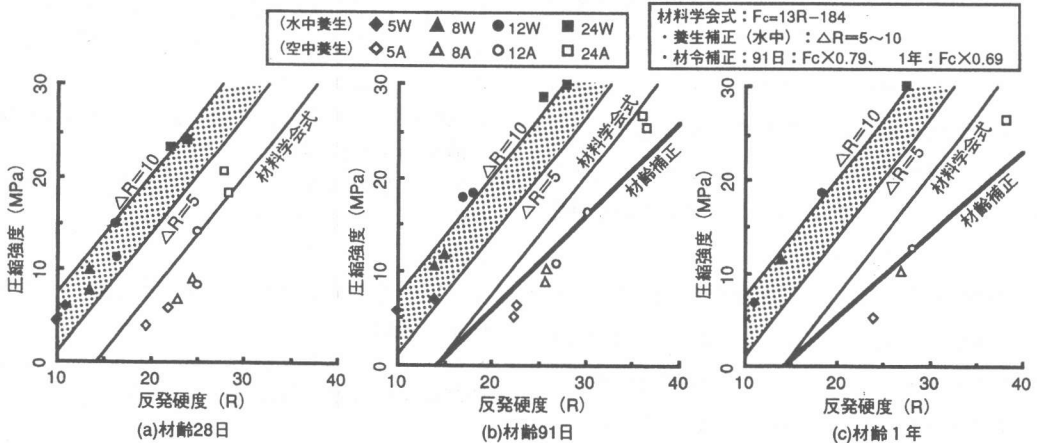


図-9 圧縮強度と反発硬度の関係 (N型ハンマー)

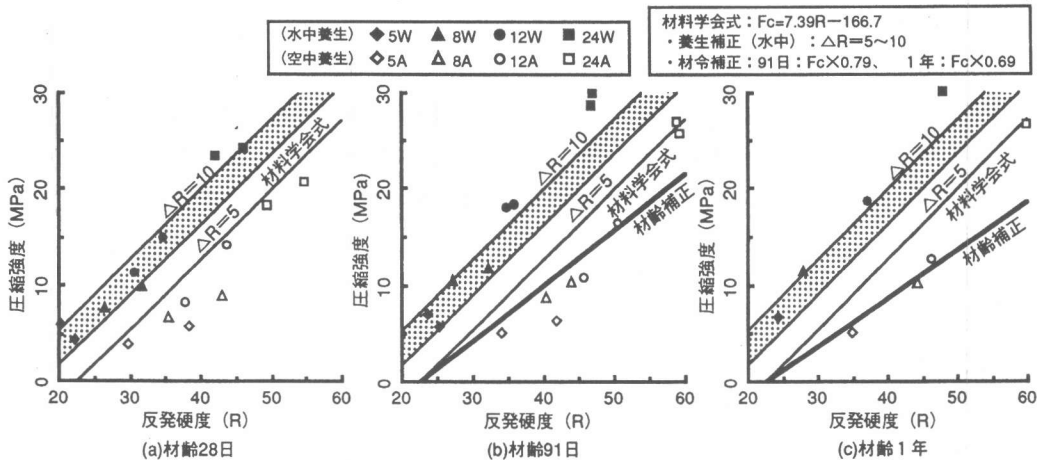


図-10 圧縮強度と反発硬度の関係 (P型ハンマー)

(3)超音波速度法

超音波速度と圧縮強度との間には、前報1)と同様、材齢(28日¹⁾~1年)および各養生方法に関わらず強い相関性が見られた。したがって、超音波速度法も、低強度コンクリートを見極める手段として十分有用と考えられる。

5. まとめ

- 1) 既存RC建築物を対象としたコンクリート強度の調査結果によれば、圧縮強度が10MPaに満たないような劣悪コンクリートが使用されている可能性は否定できない(図-1~3)。
- 2) 市販の釘を用いて、コンクリート表面を人の指の力でひっかいた場合のひっかきキズの幅は、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、低強度コンクリート(15MPa程度以下)の圧縮強度は、現場においても、ひっかき試験によってある程度推定できる(図-7, 8)。
- 3) 反発硬度法によって低強度コンクリートの圧縮強度を推定したところ、材料学会式に若干の補正を加えることによって比較的良好な推定精度が得られると考えられた(図-9, 10)。

(謝辞)

本研究にあたり、劣悪コンクリートを発見することの重要性を議論して頂いた岩瀬文夫氏(株)総合コンクリートサービス代表取締役)に謝意を表します。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」によったことを付記します。

(参考文献)

- 1) 和藤, 王, 畑中: 劣悪コンクリートの強度推定に関する基礎的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.2, pp.357-362, 1997.
- 2) 大和田, 木村: 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, pp.791-792, 1997.9.
- 3) 大野: 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.
- 4) (財)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結果の集計, 日本建築学会材料施工委員会, pp.25-32, 1996.9.
- 5) 谷川, 他: 構造材料実験法(第2版), 森北出版, 1992.
- 6) コンクリート工学協会: コンクリートの非破壊試験法に関する各種規準(試案), 1992.