

論文 小径コアの短時間吸水量に着目したコンクリートの耐久性評価法の検討

片平 博*¹・河野 広隆*²

要旨：既存コンクリート構造物の耐久性を評価する試験手法として、小径コアを採取し、この小径コアの吸水性に着目した試験を実施した。試験法としては小径コアの吸水率を測定する方法と、小径コアを乾燥炉で乾燥した後に水中に短時間沈め、その間での吸水量を測定する方法の2とおりを検討した。この結果、小径コアの吸水性はコンクリートの水セメント比や骨材の物性に依りて変化し、コンクリートの凍結融解耐久性とも比較的良い対応が認められた。

キーワード：小径コア，吸水性，凍結融解耐久性，水セメント比，空気量，再生骨材

1. はじめに

打設されたコンクリートの品質を確認する手法としては標準供試体による圧縮強度試験が一般的であるが、標準供試体の試験結果から構造物全体の品質を評価するには限界がある。このため、構造物完成後に任意の箇所のコンクリートの品質が容易に確認できる試験法の確立が望まれている。現在のところ、このような場合にはφ100mm 程度のコアを採取する方法が一般的であるが、大口径のコアリングは構造物へのダメージも大きい。このため近年ではφ20～40 mm 程度の小径コアによる圧縮強度試験法の研究が行われている^{1, 2)}。

硬化したコンクリートの物性としては強度以外に耐久性が要求される。耐久性には耐凍害性、耐中性化性、耐塩分浸透性等があり、これらを評価する試験法として凍結融解試験、促進中性化試験、塩分浸透試験、暴露試験等が行われている。しかし、これらの試験を行うには短いものでも数ヶ月の期間を要する。また暴露試験を除いては、一般の環境条件との相関が曖昧で、多大な手間と時間を要するにも関わらず、その

結果の評価に苦慮する場合がある。

これらの試験法、評価法については今後とも詳細な研究が必要であるが、一方で耐久性の概略的な評価を行う手法として、簡便な手法の確立が望まれている。

凍害はコンクリートの組織内に浸透した水が凍結するときの氷結圧によって劣化が生じる。中性化はコンクリートの透気性と深い関係があり、また、塩分浸透はコンクリートの透水性と深い関係がある。このように、これらの耐久性はコンクリート中に存在する微細な空隙の連なりに密接に関連しているといえる。

コンクリートの空隙構造を評価する一つの指標として吸水性がある。そこで、構造物から小径コアを採取し、この小径コアの吸水性に着目した試験法について検討し、水セメント比、空気量、骨材性状との関連、凍結融解耐久性との関連について調査した。

2. 実験方法

2.1 コンクリート配合

実験の概要としては、コンクリートを練混ぜ、

*1 土木研究所 構造物マネジメント技術チーム 主任研究員(正会員)

*2 土木研究所 構造物マネジメント技術チーム 主席研究員(正会員)

表-1 試験を実施した配合とコンクリート性状

シリーズ	配合名	Gmax (mm)	W/C (%)	単位量 (kg/m ³)				混和剤量(g/m ³)			フレッシュ性状		圧縮強度 σ_{28} (N/mm ²)	耐久性指数		吸水試験 を実施した コア径
				W	C	S	G	AE減水剤	高性能AE	AE助剤	スランプ (cm)	Air (%)		28日 (%)	91日 (%)	
W/C	W/C30	20	30	151	502*	673	1030	—	904	131	(64.6)	5.1	73.9	—	—	材齢28日 25,32,40, 50,100mm 材齢91日 25mm
	W/C40	20	40	173	432*	673	1030	—	346	26	21.2	5.1	52.9	—	—	
	W/C55	20	55	185	336	833	922	1042	—	5.4	21.5	5.0	37.7	96.0	—	
	W/C70	20	70	185	264	915	866	818	—	5.3	20.1	4.6	27.4	85.2	90.7	
	W/C85(185)	20	85	185	218	988	828	676	—	4.4	17.5	4.3	18.0	61.7	81.4	
	W/C85(163)	20	85	163	192	918	982	595	—	5.8	6.8	4.6	17.4	83.3	85.8	
Air	30-0.5	20	30	165	551*	673	1030	—	992	—	(67.0)	0.7	86.7	—	—	材齢28日 25mm
	30-4.5	20	30	151	502*	673	1030	—	904	131	(64.6)	5.1	73.9	—	—	
	30-7.5	20	30	144	478*	673	1030	—	860	163	(60.6)	8.1	59.8	—	—	
	55-0.5	20	55	216	392*	673	1030	—	—	—	21.9	0.5	41.8	—	—	
	55-4.5	20	55	197	357*	673	1030	—	—	32	19.9	4.1	34.6	—	—	
	55-7.5	20	55	178	323*	673	1030	—	—	42	20.0	7.1	33.3	—	—	
R	1(N55-185)	20	55	185	336	833	922	1042	—	5.4	21.5	5.0	37.7	96.0	—	材齢28日 25mm
	2(R55-185)	20	55	185	336	835	844	1042	—	5.4	19.9	5.4	34.1	23.5	—	
	3(R55-170)	20	55	170	309	830	844	958	—	12	20.2	8.4	29.0	24.2	—	
	4(R50-168)	20	50	168	336	806	851	1042	—	12	19.9	8.1	34.3	25.6	—	
	5(R55-160)	20	55	160	291	840	932	902	—	4.0	8.6	5.0	37.4	9.9	—	

*は早強セメント
それ以外は普通セメント

0内はスランプフロー値

表-2 使用材料の物性

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 3,230cm ² /g 早強ポルトランドセメント, 密度 3.14g/cm ³ , 比表面積 4,420cm ² /g
水	水道水
細骨材	大井川産川砂, 密度 2.60g/cm ³ , 吸水率 1.05%
粗骨材	笠間産硬質砂岩, 密度 2.67g/cm ³ , 吸水率 0.62% 再生骨材, 密度 2.45g/cm ³ , 吸水率 4.07%
混和剤	AE減水剤 :リグニンスルホン酸化合物, ポリオール複合体 高性能AE減水剤 :ポリカルボン酸エーテル系の複合体 AE助剤 :陰イオン界面活性剤

10×10×40cm の角柱供試体を作成, 水中養生し, 所定の材齢に達した段階で供試体から小径コアを採取し, 2.2項に述べる吸水性の試験を実施した。

コンクリートの配合は表-1に示すとおりで, 実験のシリーズとして W/C シリーズ, Air シリーズ, R シリーズを設定した。W/C シリーズは水セメント比を30, 40, 55, 70, 85%と変化した配合とし, 85%のものは単位水量を2ととり(185, 163kg/m³)設定した。Air シリーズは水セメント比を30%と55%としたうえで空気量を0.5, 4.5, 7.5%と変化した配合とした。R シリーズについては, 配合2~5は粗骨材に再生骨材を使用した配合とし, 単位水量や空気量を変化させた。配合1は比較用に普通骨材を使用した配合である。

使用材料の物性は表-2に示すとおりである。

硬化コンクリートの物性を把握する試験としては標準供試体による圧縮強度試験および10×10×40cm 角柱供試体による凍結融解試験(JSC E-G501)を実施した。表-1に得られた結果を示す。

2.2 吸水試験の方法

試験材齢は28日を基本とし, W/C シリーズについては91日材齢でも試験を実施した。

10×10×40cm の角柱供試体からコアを採取することとし, コア径は表-1に示すようにφ25mmを基本として, W/C シリーズでは他のコア径も採取した。採取したコアは上・下面をコンクリートカッターで切断し, 長さ90mm程度とした。

コアの本数はφ25mm コアが3本, φ32, 40,

50mm コアが2本、 $\phi 100\text{mm}$ コアが1本ずつとし、実験結果はすべて平均値で整理した。

吸水性を評価する試験法として以下の2通りの試験を実施した。

(1) 吸水率試験

基本的な考え方は粗骨材の吸水率試験法 (JIS A 1110) と同じである。十分に吸水させたコンクリートの質量 m_s と $100\sim 110^\circ\text{C}$ で完全に乾燥させたコンクリートの質量 m_D から (1) 式によって吸水率 $Q(\%)$ を求める。

$$Q = \frac{m_s - m_D}{m_D} \times 100 \quad (1)$$

ただし、コンクリートの場合は十分な吸水および乾燥に長い時間を必要とする。今回の実験では小径コアを用いることにより試験時間の短縮を図った。

(2) 短時間吸水量試験

コアを $100\sim 110^\circ\text{C}$ で質量が一定になるまで乾燥させた後、室温まで冷まし、これを水中に一定時間沈めたときの吸水量を測定する。水中に沈めている時間は2分、5分、10分、30分、1時間、3時間、6時間、1日、3日、7日とし、各時間ごとに水中から引き上げ、質量を測定する。測定に要する時間はそれぞれ1分間とした。

コアを沈める水槽の水深は、コアの(直径+1cm)程度とした。

3. 実験結果

3.1 吸水率算定上の留意点

供試体はコアリングするまでは水中養生しており、コアリング作業後に多少表面が乾燥することはあっても、基本的に飽水状態であると考えられる。そこでコアリング、整形後に水中で1日以上養生し、表面をウェスで拭って湿潤質量を測定した。

乾燥に要する時間は 105°C の乾燥炉において $\phi 25\text{mm}$ コアで1日、 $\phi 100\text{mm}$ コアでは7日程度を要した。

W/C シリーズについて吸水率を測定した結果を図-1に示す。図からコア径が異なっても

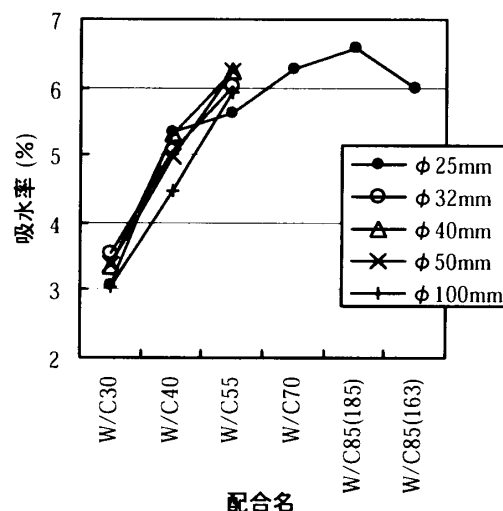


図-1 W/C, Wと吸水率

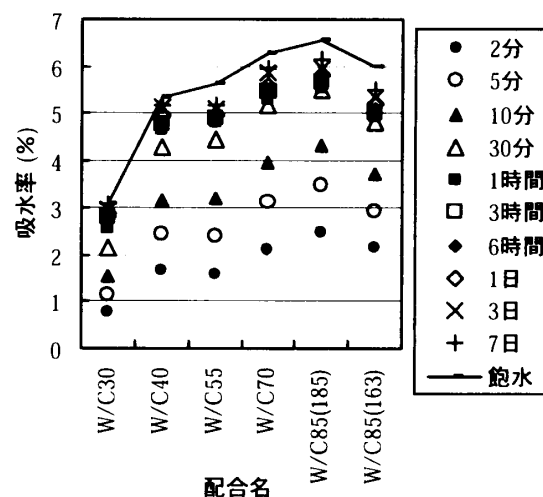


図-2 浸水時間ごとの吸水率 ($\phi 25\text{mm}$ コア)

吸水率はほぼ同一値を示しており、コア径の違いによる影響は小さいことを確認した。

図-2は乾燥炉で完全に乾燥した $\phi 25\text{mm}$ コアを水中に沈め、経過時間ごとの吸水率を求めた結果である。この図には乾燥前の湿潤質量から求めた吸水率(飽水)も合わせて示したが、一度完全に乾燥させると7日間水中で吸水させても、もとの吸水量までは回復しない結果となった。ただし W/C30%の配合だけは傾向が逆転しており、乾燥前の湿潤状態よりも乾燥後に7日間吸水させた吸水率のほうがわずかに大きくなった。この傾向はコア径が 25mm 以外のもの

のでも同様であった。

この原因は明らかではないが、一度100℃程度で完全に乾燥させると、吸水性状が若干変化するようである。そこで、今回の検討では吸水率の計算には乾燥前の湿潤質量を用いることとした。

3.2 短時間吸水量算定上の留意点

乾燥したコアを水中に沈めると、コア表面から徐々に芯部に向かって水が浸透していくと考えられる。そこで短時間吸水量はコアの表面積に対する吸水量で表すことを試みた。

まず単純に、各経過時間ごとの吸水量をコアの表面積で除して短時間吸水量を求め、コア寸法との関連を調査した。この結果、吸水時間が10分以下の短時間であっても、コア径が大きいものほどわずかに吸水量が大きくなる傾向を示した。

この理由としては、水が浸透するときに、コアの表面から芯部に向かって浸透面積が徐々に狭まるが、この狭まる割合がコア径の小さいものほど大きくなり、吸水量が減衰するためと考えられる。そこで、計算上のコアの表面積を実際よりも一回り小さく設定することで、コア径の違いによらず面積当りの吸水量がほぼ一定値となるように、表面積の算出方法を思考錯誤的に検討した。検討の結果、計算上のコアの寸法を実際のコアの外形から3mm ずつ小さくすることとし、式(2)により吸水量（以下、修正吸水量という）を求めることとした。

$$Q_s = \frac{m_n - m_0}{2\pi(r-0.3)^2 + 2\pi(r-0.3) \times (L-0.6)} \quad (2)$$

ここに、

Q_s : 修正吸水量 (g/cm²)

m_n : 水中に n 分沈めた後のコア質量 (g)

m_0 : コアの絶乾質量 (g)

r : コアの半径 (cm)

L : コアの長さ (cm)

式(2)から求めた修正吸水量の結果を図-3に示すが、吸水時間が2, 5, 10分の値はコア径によらずほぼ一定値となった。

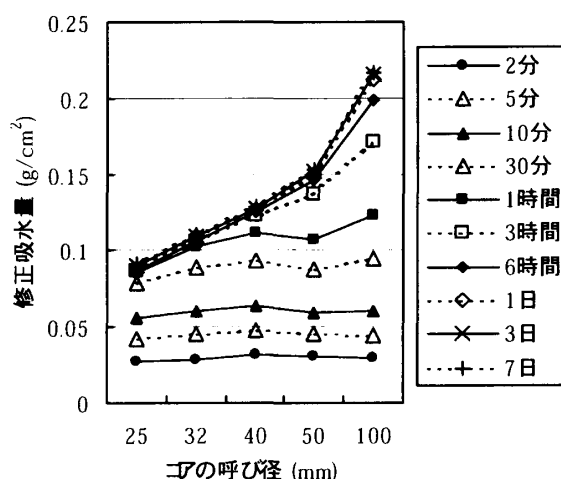


図-3 コア径と修正吸水量 W/C55%

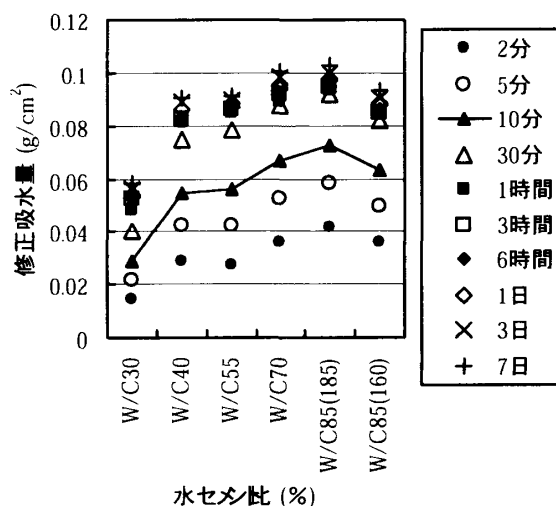


図-4 W/C, Wと修正吸水量 φ25mmコア

3.3 水セメント比・単位水量と吸水性

W/C シリーズの結果について述べる。

吸水率の結果は図-1に示した。水セメント比が大きくなるにつれて吸水率も大きくなる傾向を示した。W/C85%の配合では単位水量を2種類設定したが、単位水量の多い配合のほうが吸水率は大きい結果となった。

短時間吸水量試験から得られる修正吸水量の結果としてφ25mm コアの結果を図-4に示す。修正吸水量の傾向は吸水率の傾向とほぼ同様で、水セメント比が大きいものほど、また単位水量が大きいものほど修正吸水量は大きくなる傾向を示した。

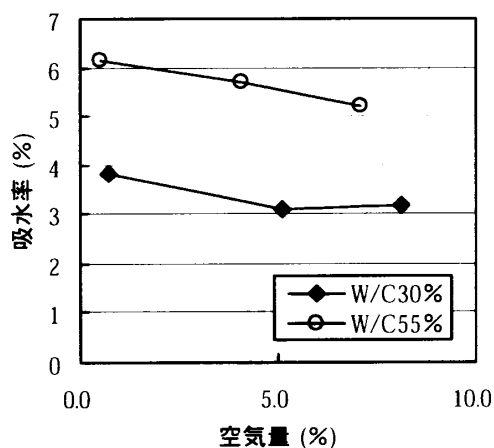


図-5 空気量と吸水率の関係

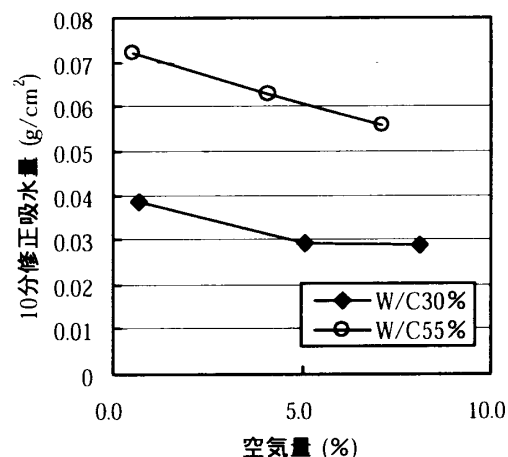


図-6 空気量と10分修正吸水量の関係

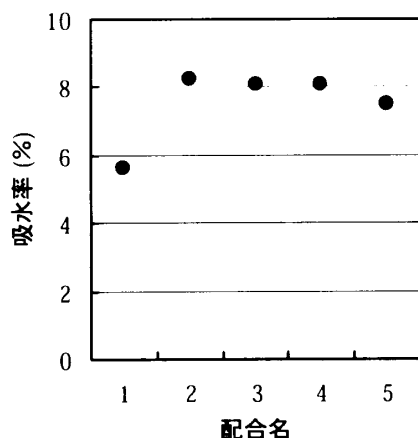


図-7 再生骨材コンクリートの吸水率

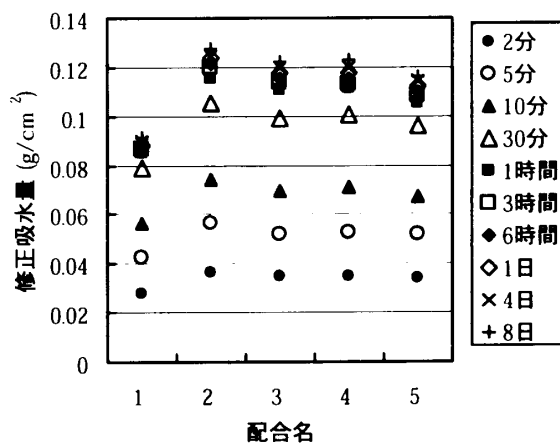


図-8 再生骨材コンクリートの修正吸水量

3.4 空気量と吸水性

Air シリーズの結果を述べる。空気量と吸水率の結果を図-5に、空気量と10分修正吸水量との関係を図-6に示すが、2つの図の傾向は同様である。空気量が多いものほど、吸水率、10分修正吸水量ともに小さくなる傾向を示した。

空気（エントレインドエア）は凍結時の氷結圧を軽減し、融解耐久性を向上させる目的で混入されるが、外部からの浸透水を遮断する効果も副次的にあるようである。

3.5 再生骨材コンクリートの吸水性

R シリーズの結果について吸水率の結果を図-7に、修正吸水量の結果を図-8に示すが、2つの図の傾向はほぼ同様である。一般骨材を使用したケース1に比較して再生骨材を使用したケース2～5の吸水率、修正吸水量は大きく

なった。ケース2～5を比較すると単位水量が最も多いケース2の値が僅かに大きく、単位水量の少ないケース5の値が僅かに小さい結果となった。

3.6 凍結融解耐久性と吸水性

W/C シリーズ中の W/C75、W/C85 (185)、W/C85 (163) および R シリーズでは凍結融解試験を実施している。そこで、凍結融解試験から得られる耐久性指数と吸水率、10分修正吸水量を比較した。この結果を図-9、10に示す。

図-9より、吸水率と耐久性指数は良い対応を示した。図-10より、10分修正吸水量は骨材の種類が同一であれば耐久性指数と良い対応関係を示したが、普通骨材コンクリートと再生骨材コンクリートとでは多少異なる対応関係となり、同じ吸水量の場合、再生骨材コンクリート

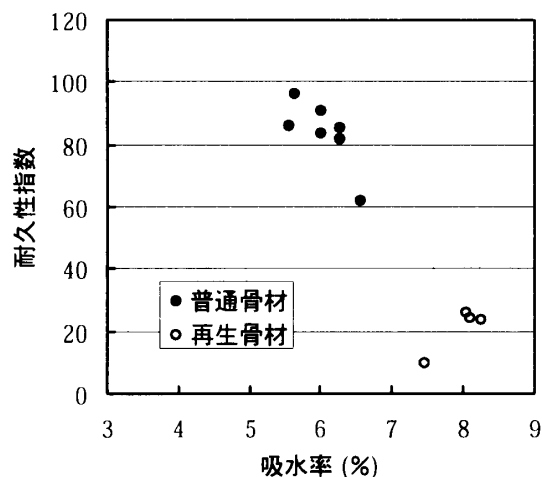


図-9 吸水率と耐久性指数

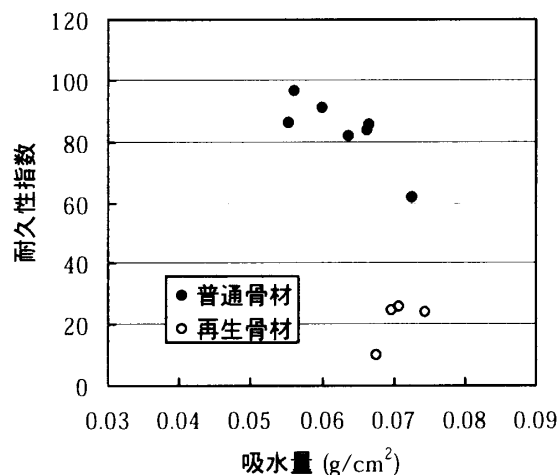


図-10 10分修正吸水量と耐久性指数

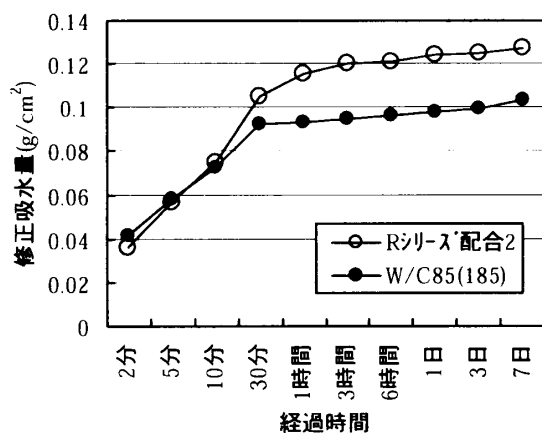


図-11 吸水量の経時変化の比較

のほうが低い耐久性指数となった。

図-11は一般骨材コンクリート（W/C85%）と再生骨材コンクリート（R配合2）の修正吸水量の時間変化を比較したものである。この2つの配合は10分修正吸水量の値はほぼ同じであるが、再生骨材コンクリートは普通骨材コンクリートに比較して、10分以降の吸水量の増加割合が大きいようである。

骨材が良好で水セメント比の高い配合では水は主にコンクリートの中に連続したモルタル部分を移動するが、再生骨材コンクリートの場合は、再生骨材製造（破碎）時に再生骨材の周囲に発生するひび割れ等に水が浸透すると考えられ、水の移動経路の違いが吸水速度に影響しているものと考えられる。

4. まとめ

今回の実験の範囲では、以下の傾向を得た。

- (1) 小径コアの吸水率はコンクリートの配合や凍結融解耐久性と比較的良い対応を示した。
- (2) 小径コアの10分修正吸水量は骨材の種類が同じであれば、コンクリートの配合や凍結融解耐久性と比較的良い対応を示した。
- (3) 再生骨材コンクリート吸水速度は一般骨材コンクリートと多少異なる傾向を示した。

参考文献

- 1) 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，コンクリート工学年次論文集，Vol. 22, No. 1, 2000
- 2) 寺田謙一，谷川泰雄，江口清，中込昭，佐原春也，若林信太郎，篠崎公彦，磯健一，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法に関する研究（その1～5），日本建築学会大会学術講演梗概集 A1, pp. 847-856, 2000