

### IV-3 硬化コンクリートの品質検査方法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 14～平 16

担当チーム：構造物マネジメント技術チーム

研究担当者：渡辺 博志、森濱 和正

片平 博、古賀 裕久、中村 英佑

#### 【要旨】

コンクリート構造物は設計基準の性能規定化への移行が進む中、構造物の耐久性についても直接これを評価する試みがなされようとしている。すなわち、新設 RC 構造物が設計どおりの性能を満足しているのかどうかを評価する方法の開発が望まれている。本研究は、非破壊試験または局部破壊試験によって構造物の品質を直接検査する方法を提案することを目的に実施した。その結果、非破壊試験により鉄筋のかぶり厚さ、耐久性の確保に重要なコンクリート表層の緻密性を試験する方法や、局部破壊試験による精度の高い強度試験などを確立した。そして、これらの試験方法を用いて RC 構造物を検査する方法を提案した。

キーワード：コンクリート構造物、非破壊試験、局部破壊試験、竣工検査、試験方法

#### 1. はじめに

新設鉄筋コンクリート構造物の検査は、圧縮強度の例を見るまでもなく、外観、出来形を除くほとんどの項目はプロセス検査または間接的な検査であり、構造物が設計どおりの性能を有しているかどうかを直接確認しているわけではない。この原因は、性能を確立する手段が確立されていないためである。そのため、新設構造物の性能がどの程度あり、寿命はどの程度あるかなどはわからないのが現状である。このため、設計時に構造物の設計寿命を与えるなど要求性能が明確になっても、それを確認することはできない。

このような現状に対し、本課題では、非破壊試験、局部破壊試験を用い、構造物を直接検査できる方法の確立を目指して検討した。

#### 2. 研究概要

##### 2.1 検査項目と試験方法

研究対象とした検査項目と、試験するための方法は表 2.1 のとおりである。ここで対象としているのは、非破壊・局部破壊試験を用いる場合のみであり、外観検査、出来形検査などは別途行われることが前提である。

検査の手順は、はじめに配筋状態、コンクリート内部に欠陥などがどうかを確認する概観検査を行う。配筋検査には電磁波レーダ（以下、単にレーダ）、電磁誘導を用いる。内部欠陥などはレーダまたは赤外線サーモグラフィを用いる。配筋検査は、そのこと自体が重要な検査項目であるが、次に説明する詳細検査を行うにあたって鉄筋位置を考慮しながら行う試験がほとんどであり、そのためにも通常欠かすことのできない項目である。

次に詳細検査を行う。検査項目は、鉄筋のかぶり厚さ、コンクリートの強度、耐久性と密接な関係があるコンク

表 2.1 対象とした検査項目と試験方法<sup>1)</sup>

検査項目		非破壊試験						局部破壊試験			
		弾性波			電・弾 パルス 電磁力	電磁波			小径 コア	超小径 コア	ボス 供試体
		超音波	衝撃 弾性波	打音法		レーダ	電磁 誘導	赤外線 サーモグラフィ			
概観 検査	配筋状態					○	○				
	内部状態					○		○			
詳細 検査	かぶり厚さ(径)				○	○	○		○		
	コンクリート強度	○	○						○	○	○
	表層の品質 品質(緻密性)	○	○								
	内部欠陥	○	○	○		○			○		
	部材の厚さ	○	○	○		○					
維持管理 (耐久性)		継続 調査	継続 調査	継続 調査	さび	継続 調査	継続 調査	継続 調査	中性化・塩 分分量	継続 調査	中性化・塩 分浸透深さ のモニタリング

リート表層の緻密性、内部欠陥、部材厚さを対象とした。

緻密性とは、ここでは主に鉄筋の腐食劣化に対する抵抗性であり、中性化抵抗性や塩化物イオン浸透の抵抗性である。

内部欠陥は、欠陥の位置、大きさ、できれば種類などまで検出できないかどうかを対象にしている。

部材厚さは、出来形検査のうちスラブ、壁などは直接厚さを測定できない。そのため、現状は端部の厚さを測定するなど代用している。どの位置でも厚さが測定できるように非破壊試験による測定方法の確立を目指した。

最後に維持管理（耐久性）の項目があるが、この項目は、コンクリート表層の緻密性や、局部破壊試験を定期的に用いれば、同じ試験方法で品質を評価できる。そのため、事前に計画的にこれらの試験方法を維持管理に適用することによって耐久性の確保に役立つものと考えられることから、経時変化を測定するなどして耐久性の評価にも適用できないかも検討に加えた。

各試験方法については、3章以降の検討内容において説明する。

## 2.2 主な検討項目

検査に用いる試験方法を確立するために、主に表 2.2 の項目について検討した。

レーダを用いてかぶり厚さを測定するには比誘電率を設定する必要がある。この値は、現状では、コアを採取してかぶり厚さを測定して逆算して求めるなど、大変な労力を必要としており、また、非破壊試験にならない方法が用いられている。このようなことから、非破壊によって比誘電率を求める方法を重点的に検討した。

構造物を直接検査するとなると、強度は、試験する材齢の強度を求めることになる。しかし、強度の判定は基準材齢（通常、28日）時である。試験する材齢は、施工条件などによって一定しないことが考えられる。また、大規模な工事であれば、基準材齢時にしか試験できないようであれば、何回も現場に測定に行かなければならず、

検査のコストが莫大になってしまうなどの問題がある。そのため、どの材齢で試験しても、そのときの強度を基準材齢時の強度に換算できなければならない。そのような方法を検討する必要がある。

耐久性を非破壊試験によって評価するには、耐久性に関しては原因が複雑であり、強度などよりも間接的な指標によらざるを得ず、しかも評価したい品質・性能が評価できているのかどうかを確認するためには長期間を要することから、数種類の方法によって検討した。

## 2.3 実験した供試体、構造物の概要

実験は、主に3種類に分類できる。

一つは、小型供試体によりコア径と強度特性、促進中性化、塩化物イオン浸透実験など基礎的な実験を行なった（表 2.3）。

表 2.3 小型供試体と実験項目<sup>2)</sup>

実験項目	試験方法	コンクリートの種類	使用した供試体の大きさ(m)
塩分浸透さび	ボス・小径 $\phi$ 7 パルス電磁力	5種類	0.1*0.3*0.45
促進中性化	小径・ボス 超音波・衝撃 弾性波	4種類	0.15*0.15*0.55
			0.4*0.45*0.1
			ボックス
$\phi$ 7径と強度	小径・超小径	5種類	0.6*0.6*0.2
材齢補正など	小径・超小径		0.8*0.8*0.2
寸法、水抜き	ボス・簡易 $\phi$ 7	5種類	1.7*0.43*0.9
促進中性化、 補修など	超音波・衝撃 弾性波、小径		0.15*0.15*0.55
さび	パルス電磁力	16種類	0.2*0.2*0.2

二つ目は、非破壊試験の精度、適用性などの検討のため、実構造物を想定した大型供試体による実験を行なった（表 2.4）。大型供試体による実験は、さまざまなコンクリート配合、部材、測定面、測定材齢などに関する検討を行なった。

三つ目は、実構造物を用いた実験を行なった（表 2.4）。実構造物では、新設構造物への適用性に関する実験はも

表 2.2 主な検討項目<sup>1)</sup>

検査項目	測定方法	検討項目	主な要因
かぶり厚さ	電磁波レーダ	電磁波速度または比誘電率の設定方法	含水率 鉄筋
内部欠陥			
部材厚さ	弾性波	弾性波速度の求め方	
かぶり厚さ	電磁誘導	鉄筋径、間隔の影響	
圧縮強度	弾性波 局部破壊試験	28日強度への補正方法	材齢
表層の緻密性	超音波 衝撃弾性波	表層の速度分布の求め方	吸水率・細孔量 中性化深さ
耐久性	局部破壊試験	耐久性の評価方法	塩化物イオン浸透深さ

表 2.4 大型供試体および実構造物の概要<sup>2)</sup>

種別	名称	構造物・部材	幅*高さ*奥行	測定時期	測定面	コンクリートの種類	調査位置・箇所数	
L型供試体	A~C	壁	2.55*1.8 *(0.28~0.65)m	経時変化	前面	N18	両面の上から100、700、1100、1700mmに表面走査法の4測線、背面の上中下部からコア採取	
		底版	2.55*(0.15~0.3) *1.65m		背面	N27		
ボックス供試体		頂版	2.9*(0.2~0.35) *4.1m	経時変化	側面	N40	下から1/3の位置に斜めに測線、コア採取	
					打設面	BB18	先端から100、500、900mmに3測線、コア採取	
		側壁(厚壁)	0.6*1.95*4.1m		側面	BB27	厚さの中央に測線、コア採取	
					打設面	N30	両面に各3測線 全面からコア採取	
		側壁(薄壁)	0.3*1.95*4.1m		側面	N18	両面に各3測線 全面からコア採取(促進中性化)	
					内面	N18	両面の上中下、中段の左右の5測線 上中下でコア採取	
		底版	2.9*0.3*4.1m		外面	N45	両面の上中下、中段の左右の5測線 上中下でコア採取	
					側面	N45	下から1/3に斜めに測線、コア採取(促進中性化)	
		打設面	BB30		4測線 全面からコア採取			
		側面	BB30		厚さの中央に測線、コア採取(促進中性化)			
壁供試体	1 2 3 4 5	壁	2.0*1.5*0.30	経時変化	側面 (広い面) 側面 (狭い面)	N18		
			2.0*1.5*0.25			N24		
			2.0*1.5*0.20			N30		
			2.0*1.5*0.15			N60		
			2.0*1.5*0.30			BB24		
構造物	A	擁壁	底版	15.0*(1.2~1.0) *前趾(3.0~2.0)m	新設	打設面	BB24	15mの擁壁13体の内4,6,7,11,13番の5体 前趾(擁壁前面の底版の出っ張り)の打設面中央1箇所ずつ
	B	橋台	底版	15.4*1.6*8.0m	新設	側面	N24	高さ1.6mを40cmずつ4層を左右に分けて打設 2層目(下),3層目(中),4層目(上)の左右6箇所 右・上1箇所
	C	橋台	底版	9.5*1.9*7.0m	新設	背面	BB24	高さ1.9mを約60cmずつ3層に分けて打設 背面(FA),前面の左右(FB,FC)の上,中,下9箇所 FAの上(FD)1箇所
			壁	9.5*4.7*1.0m		打設面		
	D	トンネル	覆工	幅員7m、高さ5.9m、 長さ789m 厚さ0.4~0.8m	39年	側壁	N18	両坑口、中央付近の3箇所に測線、コア採取
	E	橋脚	壁(車道)	5.4*6.0*1.6m	34年	上流面	N21	上中下3測線、コア採取
			壁(側道)	4.25*6.0*1.6m	19年		N24	上中下3測線、コア採取
			耐震補強	RC巻立、厚さ250mm	新設		BB24	車道、側道、中央の上中下3測線、コア採取
	F	堤防護岸		幅:目地10m*9区間 高さ:打継1m*6段	1年	法面	BB19.5	54面の内の2面に各2測線、コア採取(1面促進中性化)
	G	橋脚	底版	11.4*2.5*8.4	新設	側面	N30	
H	橋脚	壁	幅8.0*厚さ2.0~2.5	1年	側面	N24		
K	建築物			33年	壁・柱			

表 2.5 大型供試体・小型供試体および実構造物に用いられてコンクリートの配合<sup>2)</sup>

種別	名称	部材	コンクリート名称	セメントの種類	呼び強度	粗骨材最大寸法(mm)	スランプ(cm)	空気量(%)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量 (kg/m <sup>3</sup> )				混和剤	
											水	セメント	粗骨材	細骨材		AE減水
L型供試体	A	壁 底版	N18(1)	普通ポルト	18	25			63.0	44.9	158	251	1026	824	2.69	
			BB18	高炉B種	18	40			59.0	43.0	148	251	1070	799	2.69	
	B	壁 底版	N27	普通ポルト	27	25	8	4.5	49.5	43.2	158	320	1023	771	3.42	
BB18			高炉B種	18	40			59.0	43.0	148	251	1070	799	2.69		
C	壁 底版	N40	普通ポルト	40	25			38.0	41.0	159	419	1015	696	4.48		
		BB27	高炉B種	27	40			45.5	41.3	148	326	1064	740	3.49		
ボックス供試体		頂版 厚壁 薄壁 底版	N30(1)		30				50.0	42.9	163	326	783	1050	3.46	
			N18(2)	普通ポルト	18	20	8	4.5	35.0	39.9	163	466	686	1072	5.13	
			N45		45		12	3.0	70.0	47.0	161	230	885	1031	2.44	
			BB30	高炉B種	30		8	4.5	50.0	42.2	161	322	773	1058	3.41	
			N18(3)		18				67.0	44.9	160	239	1049	849	2.55	
壁供試体	1 2 3 4 5	壁	N24	普通ポルト	24			4.5	57.5	43.5	157	274	1065	813	2.92	
			N30(2)		30	20	8	3.0	49.5	42.3	157	318	1065	776	3.39	
			N60		60		15	3.0	30.0	42.5	160	534	970	710	6.94	
			BB24	高炉B種	24		8	4.5	56.5	43.6	153	271	1065	818	2.89	
			BB24-1	高炉B種	24	40	8	4.5	47.4	39.2	144	304	1138	723	0.121	
構造物	A	擁壁・底版	BB24-1	高炉B種	24	40	8	4.5	53.1	44.9	159	300	1031	813	4.2	
			N24-1	普通ポルト	24	25	8	4.5	52.6	46.7	162	308	1033	827	4.03	2.37
	B	橋台・底版・壁	BB24-2	高炉B種	24	20	8	4.5								
			N18-1	普通ポルト	18	40										
	E	橋脚・壁(車道) 橋脚・壁(側道) 橋脚・RC巻立	N21-1	普通ポルト	21	40										
			BB24-3	高炉B種	24	40										
			BB24-4	高炉B種	24	20	8→15	4.5	55.0	47.6	164	299	984	837	1.622	流動化
	F	堤防護岸	BB19.5-1	高炉B種	19.5	40	8	4.5	60.0	42.1	143	238	813	1109	2.535	
G	橋脚・底版	N30	普通ポルト	30	20	8	4.5	54.5	42.4	151	277	1111	804	2.77		
		N24-2	普通ポルト	24	20	8	4.5	55.5	41.5	161	290	1102	957			
K	建築物															

もちろん、維持管理への適用を想定し、既設建造物の測定も行なった。

実験に用いたコンクリートの配合は表 2.5 のとおりであり、呼び強度でまとめると表 2.6 のとおりである。

表 2.6 コンクリートの種類<sup>2)</sup>

セメントの種類	N		BB		
	Gmax	20(25)	40	20	40
呼び強度	18	△□◇	○	—	△
	19.5	—	—	—	○
	21	—	○	—	—
	24	◇○○	—	◇○○	○○
	27	△	—	—	△
	30	□◇○	—	□	—
	40	△	—	—	—
	45	□	—	—	—
60	◇				

凡例 供試体 △:L型, □:ボックス,  
◇:壁供試体  
建造物:○

### 3. レーダによるかぶり厚さの測定、内部欠陥、ひび割れの探査

#### 3.1 レーダと電磁誘導

レーダは、物質の電気的性質である誘電率(通常、比誘電率で表すことが多い)が異なると反射する性質がある。この性質を利用して異なる物質を検出する場合に用いられる。今回の場合、コンクリート中の鉄筋の位置を検出する。位置(かぶり厚さ)の検出は、反射して戻ってくる電磁波の往復時間から求める。距離を求めるには速度も必要であり、電磁波速度は比誘電率 $\epsilon$ の平方根で除して求められる。比誘電率は、空気中は1、水は81である。コンクリート中の比誘電率は含水状態によって異なり、乾燥している場合4程度、湿潤状態の場合は20程度と大きく変化する。また、コンクリート中の含水状態は位置によって異なり、通常、表面は乾燥しており、内部は湿潤状態になっていることから連続的に分布している。かぶり厚さを精度良く求めるためには、そのような状態の比誘電率の分布を求める必要がある。これまで、そのような研究は皆無であり、本研究では比誘電率分布の求め方について精力的に研究することとした。

また、比誘電率は空気中では小さいことから、コンクリート中に欠陥があり空隙が多い場合にはその部分の検出も可能と考えられ、内部欠陥の検出も試みた。

電磁誘導法は、磁場の中で鉄などの導体を動かすと、導体内に誘導電流が生じる。このように導体内に電流が生じると、最初の磁場に反発する磁場が新たに発生する。この現象を利用して、磁性体である

鉄筋を探査する方法である。

レーダと電磁誘導の特長を比較すると表 3.1 のようになる。

電磁誘導は、浅いかぶり厚さの測定に優れており、塩害などを受けやすい橋梁上部工などに適している。

レーダは、深いかぶり厚さの測定に優れており橋梁上部工以外の多くの土木構造物に適していること、欠陥なども検出できることから表 2.1 の概観検査に適していること、かぶり厚さを求めるにあたって比誘電率も求める必要があり、以下では、レーダの検討結果を示す。

表 3.1 レーダ、電磁誘導の比較<sup>3)</sup>

項目		レーダ	電磁誘導
適用範囲	配筋状態	○	○
	浅いかぶり	△	○
	深いかぶり	○	△
	かぶりと間隔	かぶり<間隔	
	鉄筋間隔 多段配筋	○	△
必要な定数	比誘電率	必要	—
	鉄筋径	—	必要(○)
その他	鉄筋径	—	○
	欠陥、パイプなど	○	×

#### 3.2 比誘電率とかぶり厚さ

比誘電率を非破壊で求める方法として、埋め込まれている鉄筋の径を用いる方法(以下、単に鉄筋径法という)と双曲線法の2方法を提案した。以下に鉄筋径法を示す。

レーダ装置の比誘電率を3段階設定を変え、軸方向鉄筋、帯鉄筋のかぶり厚さを求め、各比誘電率のときの鉄筋までの往復伝搬時間 $t$ を式(3.1)によって計算する。

$$t = d_0 \cdot \sqrt{\epsilon_0} / C \quad (3.1)$$

ここに $\epsilon_0$ 、 $d_0$ : 設定比誘電率とそのときの測定かぶり厚さ、 $C$ : 電磁波の空気中の速度である。

コンクリート内の比誘電率は、含水率分布<sup>4)</sup>の影響を強く受けることから、比誘電率の分布を図 3.1 のように仮定すると式(3.2)となり、往復伝搬時間とかぶり厚さの関係は式(3.3)から、式(3.4)を得る。

$$\sqrt{\epsilon} = x / (1/a + x/(c-b)) + b \quad (3.2)$$

$$t/2 = \int \sqrt{\epsilon} dx / C \quad (3.3)$$

$$C \cdot t/2 = c \cdot x - (c-b)^2 / a \cdot \ln(a \cdot x - b + c) \quad (3.4)$$

ここに、 $\epsilon$ : 比誘電率、 $a$ 、 $b$ 、 $c$ : 回帰係数であり、 $a$ は $x=0$ のときの接線の傾き、 $b$ は表面の比誘電率、 $c$ は $x=\infty$ のときの比誘電率を表す係数である。

測定結果を式(3.4)によって回帰することにより誘電率分布を求めることができる。

この誘電率分布を用いてかぶり厚さを求めた結果が図 3.2 である。

図 3.2 の例は、長年地中に埋まっていた橋脚のか

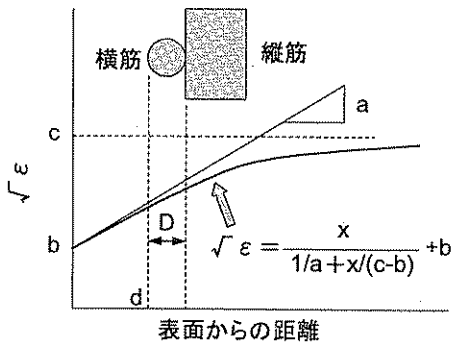


図 3.1 比誘電率分布の仮定<sup>5)</sup>

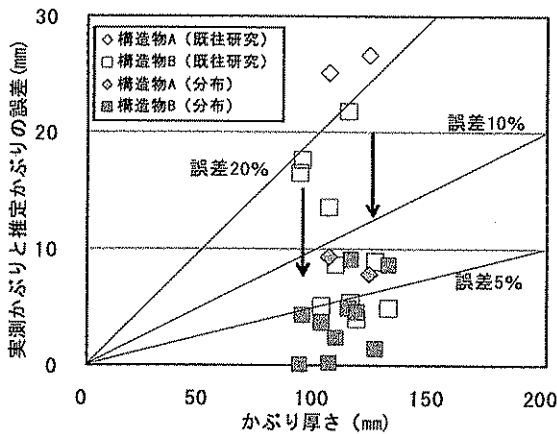


図 3.2 かぶり厚さ実測値との比較<sup>6)</sup>

ぶり厚さを測定した結果である。既往研究は、本研究の初期に提案した比誘電率の求め方であり、鉄筋位置、つまりコンクリート内部の比誘電率を求める方法である。この場合、地中に埋まっていたことから鉄筋位置では含水率が高く、比誘電率も大きかったため、かぶり厚さが小さく求められ、誤差が大きくなっている。この結果に対し、比誘電率分布を考慮すると誤差は小さくなり、20%程度あった誤差が10%以下になり、精度良く測定できるようになった。

なお、レーダ装置の分解能などの問題があり、現状ではこの程度の精度までしか望めない。精度を一層向上するには、今後、装置の改造などが必要である。

### 3.3 内部欠陥の検出

コンクリート内部にジャンカのような内部欠陥がある場合、その部分は空隙が多いことから、健全なコンクリートよりも比誘電率が小さくなり、レーダによって検出できる。

ここでは、ジャンカを想定してポーラスコンクリートを埋め込んだ供試体の測定例を図 3.3 に示す。ポーラスコンクリート部分の波形は、健全な部分とは異なり、異常があることはわかる。また、深さもある程度推定できる。どんなもの（空隙の多いものか、少ないものか）かも詳細な解析を行えばわかるようになってきたが、ここでは割愛する。

### 3.4 ひび割れの検出

これまで、レーダによるはくりのように斜めのひび割れの検出は難しいといわれていた。理由は、ひび割れの両面で電波が反射するが、ひび割れは空気層が薄いため、反射波が重なって検出できないためである。

本研究では、ひび割れ部分に水を入れ、十分しみこませることにより電磁波速度を遅くし、これにより幅広く見せかけることによって検出しようと考えた。コールドジョイント検出の一例を図 3.4、図 3.5 に示す。

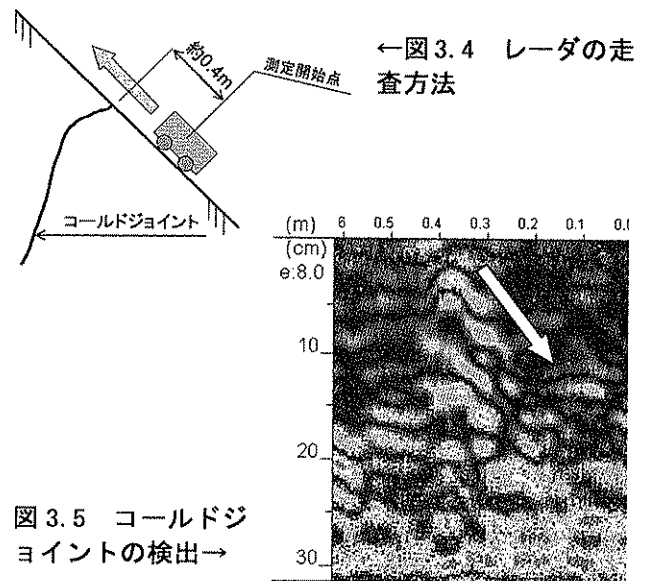


図 3.5 コールドジョイントの検出→

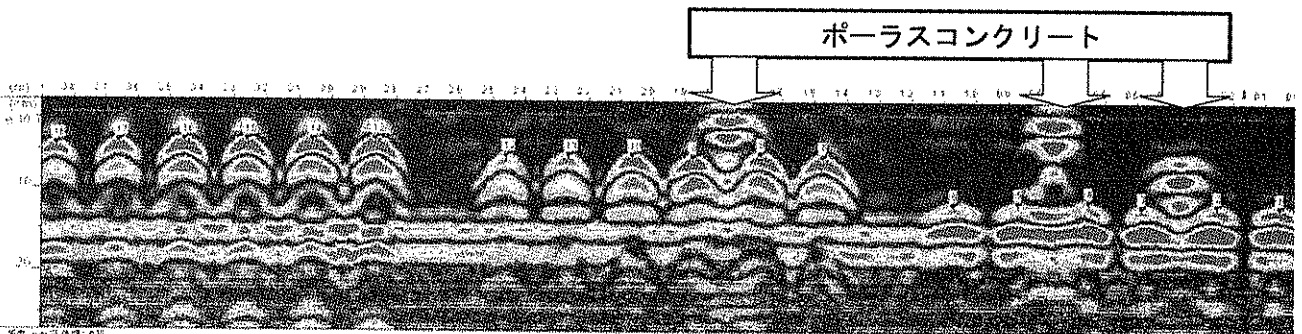


図 3.3 内部欠陥測定結果

#### 4. 超音波法による強度推定、表層の緻密性の評価

##### 4.1 弾性波法の特長

本研究で対象とした弾性波法は、超音波法、衝撃弾性波法、打音法の3種類である。これらの概要と特長を比較すると次のようになる。

超音波法は、圧電素子によって超音波を送信、受信する方法であり、圧電素子によって周波数を選択できる。衝撃弾性波法と打音法は、鋼球などを打撃することは同じであるが、受信が異なる。衝撃弾性波法は、コンクリート表面に加速度計などを設置して打撃した波を直接受信する。打音法は、コンクリート面から離れた位置で、マイクロフォンによって音を受信する。

打音法は、受信センサをコンクリート面から離れた状態で測定できるので、コンクリート表面近くのはくりや欠陥を簡単に検出する場合に適している。

衝撃弾性波は、厚い部材の厚さ測定などに適している。波形を解析することにより内部欠陥の検出なども可能である。また、弾性波速度を測定することにより強度推定ができる。さらには、鋼球で打撃したときの接触時間からコンクリート表面の品質を評価できる。リバウンドハンマは打撃力が大きいため、表面がへこみ、塑性変形を生じるが、衝撃弾性波は鋼球打撃という微小な力による接触のため、完全な弾性反発に近い状態となることから、表面の評価が可能である。このように、衝撃弾性波は優れた多くの特長を有している。

超音波法は、打撃する方法よりも高い周波数の波がコンクリート内部の品質に応じた最速伝搬経路を伝搬することから、以下では、超音波法による強度推定、表層コンクリートの緻密性の評価について示す。最速経路を推定することにより、コンクリート内部の真の音速分布を求め、この音速からコンクリート内部の品質を評価するものである。

##### 4.2 音速分布の求め方

強度、表層の緻密性を推定するために、まずコンクリート内部の音速分布を推定する。音速分布の推定は、次の手順で行う。

- ① 表面走査法(図4.1)によって伝搬時間  $t$  を測定する。表面走査法とは、図4.1のように同一平面上で探触子間隔を変化させながら伝搬時間を測定する方法である。一般に、コンクリート表面は内部より品質が劣っているので、音速は表面が遅く内部が速い。そのため、表面に設置した探触子間の超音波の最速経路はコンクリート内部を湾曲しながら伝搬する。
- ② 音速分布を図4.2のように仮定することによって、伝搬経路を変分法によって求めることができる(図4.3)。
- ③ 変分法によって求めた伝搬経路を伝搬する時間  $t_{cal}$  を計算によって求める。
- ④ 音速分布を変化させて伝搬時間の計算値  $t_{cal}$  を

求め、 $t_{cal}$  が測定した伝搬時間  $t$  の最尤値となるときが、求めようとしている音速分布である。

そのほか、表面走査法によって探触子間隔を変化させて伝搬時間を測定するとき、探触子の大きさによって間隔を補正する必要がある。あるいは、音速分布は、コンクリート表面からある程度内部になると図4.2のように音速はほぼ一定になる(ここでは、内部音速と呼んでいる)など、音速分布を求めるには①~④以外にも詳細な操作が必要である。これらの詳細については文献7)を参照いただきたい。

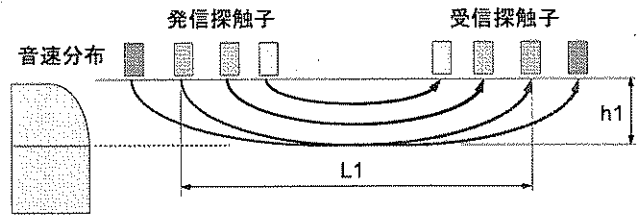


図4.1 表面走査法による伝搬時間の測定<sup>7)</sup>

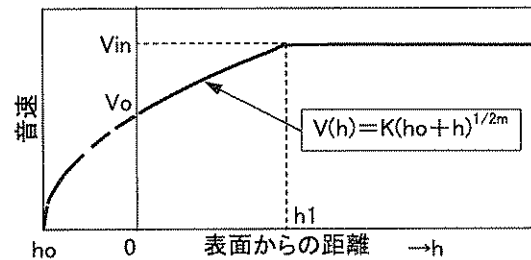


図4.2 音速分布の仮定<sup>7)</sup>

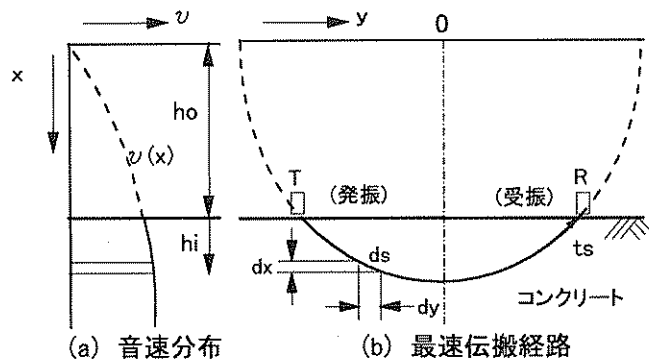


図4.3 音速分布と最速伝搬経路<sup>8)</sup>

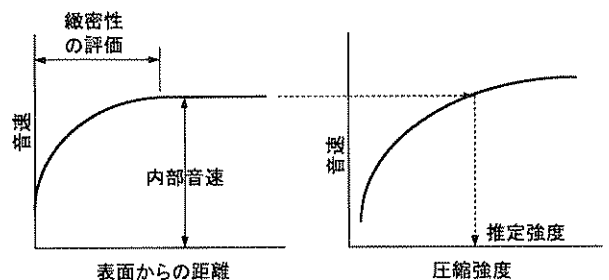


図4.4 強度、表層の緻密性の推定方法<sup>7)</sup>

### 4.3 強度推定

上記方法により図 4.4(a)の音速分布が得られる。表層の音速が変化している部分は、コンクリートの品質の変化を表しているものと考えられ、音速の変化から緻密性を評価できるのではないかと考えている。圧縮強度は、図 4.4(a)の一定となった部分の音速（内部音速）を用い、図 4.4(b)の圧縮強度と音速の関係から、内部音速に一致する強度を求めることによって推定する。図 4.4(b)は、コンクリート打設時に圧縮強度試験用の円柱供試体を作製し、構造物のコンクリート内部の状態を想定して封かん養生し、強度試験前に円柱供試体の軸方向を透過法によって音速を測定し、強度と音速の関係を求めたものである。

まず、音速分布の推定結果の一例は図 4.5のとおりである。曲線および直線が解析結果、プロットしている記号はコアの半径方向を透過法によって測定した音速（以下、透過音速）の結果である。解析結果は透過音速とほぼ一致しており、コンクリート内部の音速を推定できている。

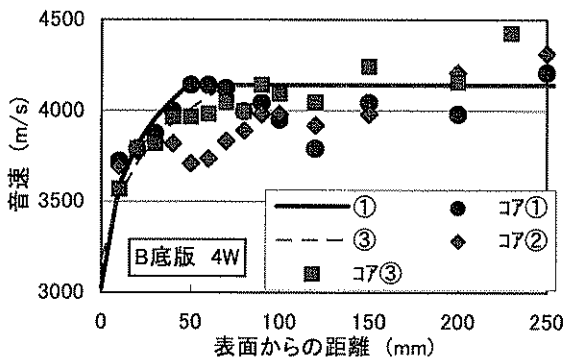


図 4.5 音速分布の推定結果<sup>9)</sup>

強度推定には図 4.5の音速一定部分（内部音速）を用いるので、内部音速が強度特性を表しているのかどうかを確認しておく必要がある。内部音速と材齢の関係は図 4.6のようになり、一般的なコンクリートの強度増加と同様な関係を表している。

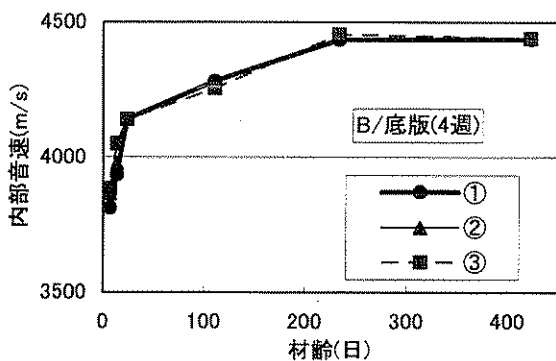


図 4.6 内部音速と材齢の関係<sup>9)</sup>

強度推定結果を標準コアと比較した結果の一例は図 4.7のとおりである。両者はほぼ一致しており、本方法により強度推定は可能と考えられる。

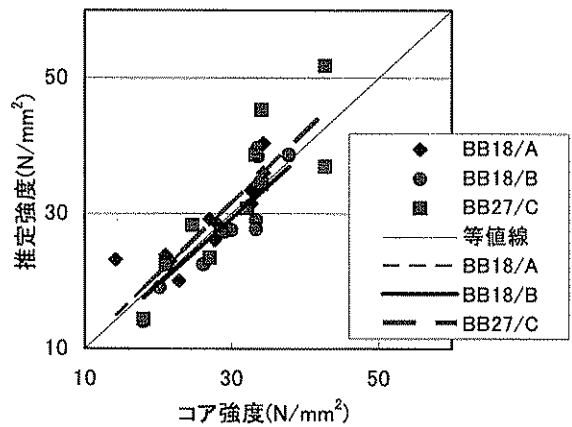


図 4.7 推定強度と標準コア強度の比較<sup>9)</sup>

次に 28 日以外の材齢で試験して推定した強度を、28 日強度に補正する方法は以下のとおりである。強度発現は、式(4.1)の双曲線関数と仮定する。

$$fct = t / (1/a + t/b) \quad (4.1)$$

ここに、 $fct$ ：材齢  $t$  日の圧縮強度、 $a$ ： $t=0$  の時の接線勾配、 $b$ ：最終( $t=\infty$ )到達強度を表わす係数。材齢  $t$  日の強度を 28 日強度  $fc_{28}$  に補正するために、式(4.1)の右辺の分子、分母に  $fc_{28}$  を掛けることによって式(4.2)を得る。

$$fc_{28} = fct(\alpha + \beta \cdot t) / t \quad (4.2)$$

ただし、 $\alpha = fc_{28}/a$ 、 $\beta = fc_{28}/b$ 。

係数  $\alpha$ 、 $\beta$  を求めることによって、式(4.2)で材齢  $t$  日の強度を 28 日強度に補正できる。

28 日補正強度を求めた結果を図 4.8 に示す。縦軸の強度比は、28 日補正強度に対する 28 日強度の比である。横軸は試験した材齢である。

2 週から 13 週に試験した結果はほぼ補正できているが、材齢初期と長期、特に初期の強度比は大きくなっており、今後さらに検討する必要がある。

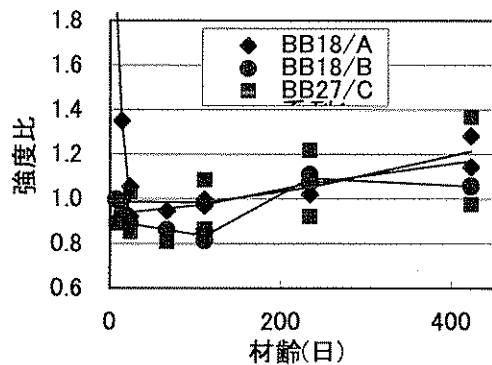


図 4.8 28日補正強度<sup>9)</sup>



#### 4.4 緻密性の評価

図 4.4(a)の表層部分の音速が変化している部分でコンクリートの緻密性を評価する。評価する方法は、①標準コアの半径方向の透過音速、②コアを薄く輪切りにした吸水率、③促進中性化試験による中性化深さ、④塩水散布による塩化物イオン浸透深さ、の4方法である。

①のコアの透過音速との比較は図 4.5 のとおりであり、コンクリート表層の音速を推定できている。

②の吸水率との関係は、図 4.9 のようになった。図 4.9 は次の手順で作成した。音速分布は図 4.5 のように求められる。吸水率は、コアを 10mm 程度に輪切りにして求めた(図 4.10)。図 4.10 の吸水率を求めた位置と同じ位置の音速を図 4.5 から求め、プロットしていったのが図 4.9 である。図 4.9 は、音速が速くなるほど吸水率は小さくなっており、緻密性を表していることがわかる。

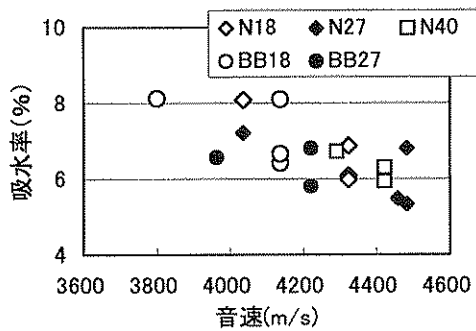


図 4.9 音速と吸水率の関係<sup>10)</sup>

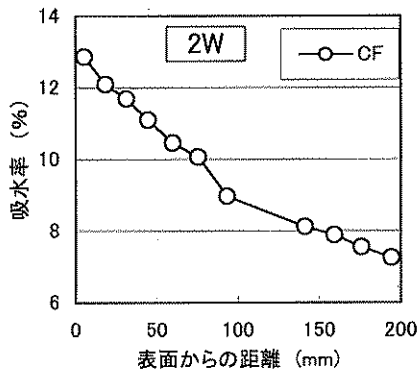


図 4.10 吸水率分布

音速分布によって実際に耐久性を評価することができるのかを確認するため、③中性化深さ、④塩化物イオン浸透深さと音速の関係について検討した。

中性化深さは、供試体を作り、そこから小径コアを採取し、側面を塗装して促進中性化試験槽に入れた。中性化深さの結果と、音速分布を考慮したときの中性化深さの解析結果を図 4.11 に示す。中性化深さの進行速度は、通常、 $\sqrt{t}$  則に従うといわれている。 $\sqrt{t}$  則とは、中性化深さは時間の平方根に比例

するという考え方である。図 4.11 の「回帰」は、 $\sqrt{t}$  則にのっとり材齢の平方根で回帰した結果である。「解析」は、中性化速度は音速に反比例すると仮定して、 $\sqrt{t}$  則による中性化速度係数が図 4.12(b) のようになるものとして、中性化深さを求めた結果である。解析結果は過大な傾向があるものの、初期の中性化深さはほぼ一致している。今後、中性化速度係数についてはさらに検討する必要があるものの、このような考え方により表層の中性化速度を評価できるものと考えられる。

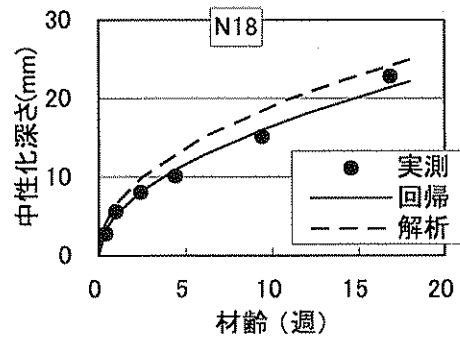


図 4.11 中性化深さ<sup>11)</sup>

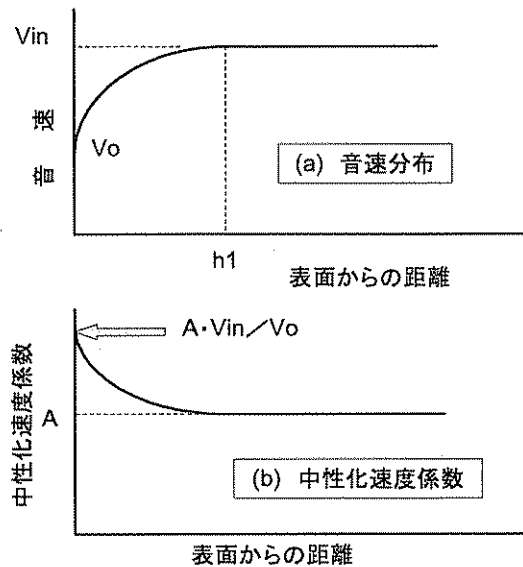


図 4.12 中性化速度係数の仮定<sup>11)</sup>

塩化物イオン浸透深さの実験結果は図 4.13 のとおりである。図 4.13 には、塩化物イオンの浸透深さも $\sqrt{t}$  則に従うものと仮定して回帰した結果と、 $\sqrt{t}$  則による塩化物イオン浸透速度係数を中性化と同様に図 4.12(b)によって計算した結果(解析)を示している。図 4.11 の中性化深さと同様に、この速度係数の求め方では塩化物イオン浸透深さを過大に評価する傾向があるものの、初期の深さは、中性化の結果よりも明確に本方法はよく一致しており、このような方法は有効と考えられる。

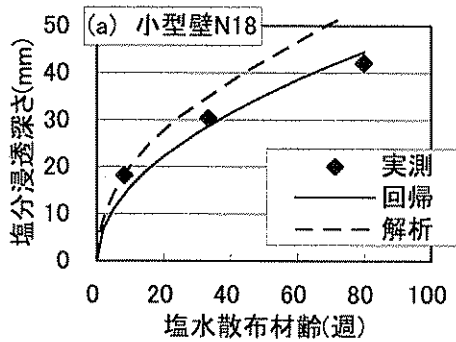


図 4.13 塩化物イオン浸透深さ<sup>11)</sup>

## 5. 赤外線サーモグラフィによる欠陥検出

赤外線サーモグラフィ法は、物体（構造物）から放出される赤外線の量を捉えることでその物体の温度を知ることができることから、温度変化によって内部状態を推定する方法である。

赤外線サーモグラフィ法にはパッシブ法とアクティブ法がある。パッシブ法は、気温の変化などによって構造物の温度変化を捉え、内部を推定する方法である。アクティブ法は、加熱、冷却することにより強制的に温度変化を与える方法である。

本研究では、新設構造物の欠陥の有無を概観するため、パッシブ法を用いた。パッシブ法は温度変化が小さいため、極表面に欠陥がある場合や、内部に大きな欠陥がある場合には検出できた。

今後は、実際にどのような欠陥があり、それらの欠陥に対して有効に検出できるのかの検討が必要である。

## 6. パルス電磁力音響法によるかぶり厚さ、錆検出

パルス電磁力音響法は、パルス状の電磁波を与えることにより鉄筋が振動し、その振動波形の受信データから各種推定を実施するものである。例えば、かぶり厚さを推定したり、振動波形の解析により鉄筋とコンクリートの付着状態を推定することが可能になる。この付着状態の推定結果から、さらに鉄筋表面の腐食状態の推定につなげることもできる。

本研究では、かぶり厚さの測定は可能であることは確認できた。錆の検出についても、小型の供試体によって検出できる可能性を見出した。しかしながら、小型供試体と実構造物あるいは大型供試体では鉄筋径、かぶり厚さ、鉄筋の固定状態など多くの条件が大きく異なることから、今後は大型供試体を継続して測定すること、塩害を受けた構造物の測定などを行い、検証していく必要がある。

## 7. 小径・超小径コアによる強度、耐久性評価

### 7.1 局部破壊試験による強度、耐久性評価

非破壊試験による強度推定方法は、古くからリバウンドハンマーや超音波法が提案されている、本研究でも従来の提案とは異なる実用性を考慮した超音

波法、衝撃弾性波法の検討を行なっているが、精度などに問題があり、まだ実用段階には至っていない。そのため、局部的な破壊は伴うものの、実構造物への適用の可能性が高い方法としてφ25mmの小径コア、φ10mmの超小径コア、ボス供試体による強度試験について検討した。

また、これらの方法は中性化、塩化物イオンの浸透深さなど耐久性の評価にも適用できる可能性があることから、これらの検討も行なった。ここで耐久性の評価とは、本研究の目的である新設時における耐久性の評価であり、新設時に中性化抵抗性や鉄筋腐食に対する抵抗性が設計どおりの性能を有しているかどうかを評価することである。具体的には、中性化させる炭酸ガスの拡散性、塩害による鉄筋腐食を評価するため塩化物イオンの拡散性の評価である。

以下に小径・超小径コアの強度、耐久性の検討結果を示し、ボス供試体は8章に記述する。

### 7.2 小径・超小径コアによる強度試験

小径・超小径コアと標準コアの強度比較を図7.1および図7.2に示す。両者はほぼ一致しており、小径・超小径コアによる強度試験は実用化できるものと考えられる。

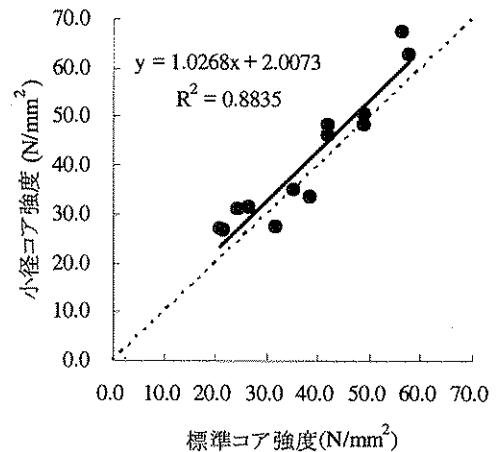


図 7.1 小径コアの強度試験結果<sup>12)</sup>

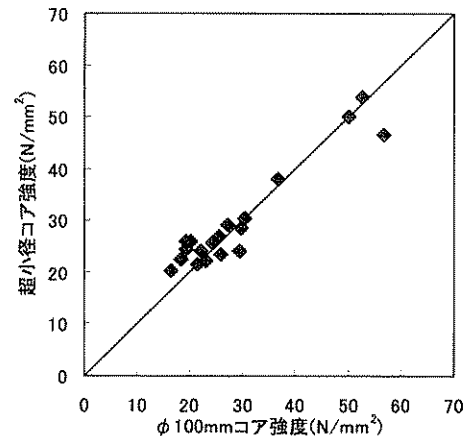


図 7.2 超小径コアの強度試験結果<sup>13)</sup>

### 7.3 コア径と強度の関係

本研究では小径コアとしてφ25mm、超小径コアとしてφ10mmの強度試験を行なった。今後、異なった径のコアによる強度試験も実施されることが予想されること、この技術を規格化することを考えると、コア径と強度特性の関係について検討しておく必要があるものと考え、次のような実験を行なった。

表 2.5 のボックス供試体の 4 種類のコンクリートについて、コンクリート（粗骨材最大寸法 Gmax 20mm）、5mm ふりいでウエットスクリーニングしたモルタル（Gmax 5mm）、N30 については 10mm ふりいでウエットスクリーニングした Gmax 10mm のコンクリートで、600×600mm、厚さ 200mm の版状の供試体を作製し、直径 100mm、50mm、25mm、10mm のコアを採取して強度試験を行なった。

コア径と強度の関係は、図 7.3 のようにコア径が大きくなるほど強度は小さくなっている。寸法効果と呼ばれるものであり、コアの強度についても寸法効果があることが明らかになった。

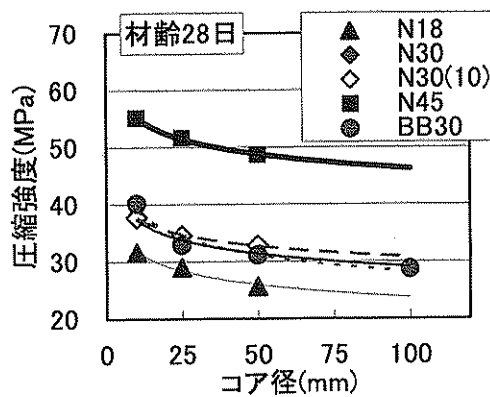


図 7.3 コア径と強度の関係<sup>14)</sup>

次に、コア径が小さくなると粗骨材の影響があるのではないかと、という問題がある。コンクリートの強度は基本的にはモルタル強度で決まる。粗骨材の影響は、モルタルと粗骨材の界面の付着状態に起因するものと考えられる。その主因はブリーディングによる界面の脆弱化であり、粗骨材が大きくなるほど強度は小さくなることが予想される。そのことを確認するために、ふるい目を変えてウエットスクリーニングすることにより最大寸法の異なるコンクリート供試体により、強度試験を行なった。その結果が図 7.4 である。横軸は粗骨材最大寸法である。φ100mm コアは、モルタル（Gmax 5mm）の強度を 100%としたとき、Gmax 10mm は 93%、Gmax 20mm は 80%であり、粗骨材最大寸法が大きくなるほど強度は小さくなっており、予想どおりの結果を得た。φ50mm、φ25mm も φ100mm とほぼ同様の結果になっており、φ25mm はコンクリート強度を表している。ところが、φ10mm の強度低下はφ

100~25mm の半分程度になっている。つまり、φ10mm になるとコンクリートとモルタルの中間の強度を表しており、それだけ粗骨材の影響が小さくなっていることを示している。つまり、コア径が小さくなるほどモルタル強度に近づくという当然の結果が得られた。

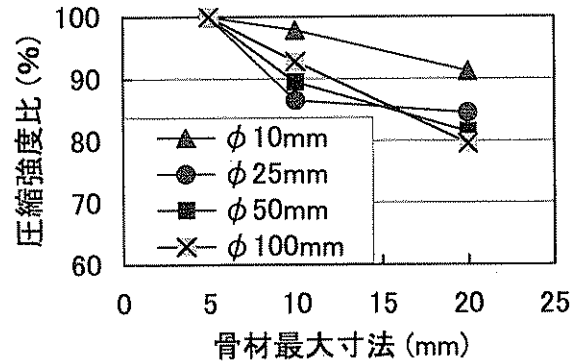


図 7.4 骨材最大寸法と強度の関係<sup>14)</sup>

以上の結果より、コア径を小さくしていくと、

- ① モルタル強度に近づく
- ② 寸法効果がある

という 2 条件を満足する必要があるということが明らかになった。

ただし、コンクリートで試験すると、結果に影響を及ぼすのは寸法効果のみであり、小径のコアを用いた強度試験が適正に行われているかどうかは、寸法効果が妥当に現れているかどうかで判断できる。

このことは、小径コアによる強度試験を規格化する場合に考慮すべき、重要な特性である。

### 7.4 小径コアによる耐久性評価

小径コアによって中性化深さ、塩化物イオン浸透深さの評価をおこなうことができるのかどうかを確

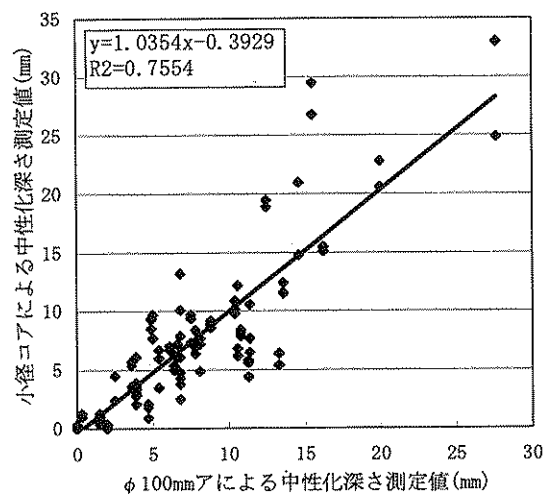


図 7.5 中性化試験結果<sup>15)</sup>

認するため、促進中性化試験、塩水散布試験を行なった。図7.5および図7.6に実験結果を示すとおり、小径コアによる中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ測定結果は、通常実施されているφ100mmコアによる結果とほぼ一致しており、小径コアにより耐久性の評価は可能である。

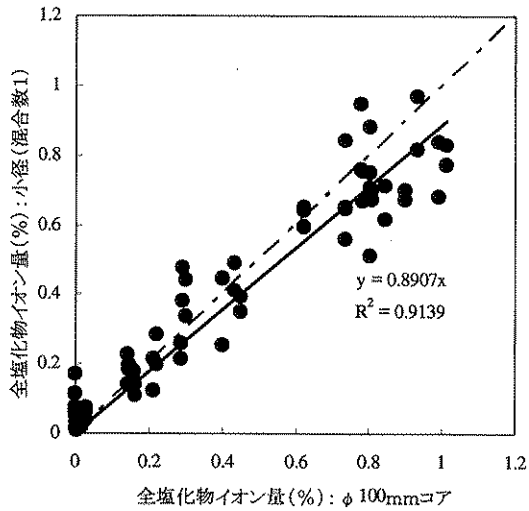


図 7.6 塩化物イオン浸透深さ<sup>16)</sup>

## 8. ポス供試体による強度、耐久性評価

### 8.1 ポス供試体

ポス供試体とは、図8.1に示すように構造体コンクリートに成型してできた凸部状の供試体を割取ったものを称し、ポス (BOSS) は **B**roken **O**ff **S**pecimens by **S**plitting を意味する。ポス供試体は、コンクリート打設前に構造体コンクリートの型枠にあらかじめポス供試体型枠を取り付けておき、構造体コンクリートが打設されると同時にポス供試体型枠にもコンクリートが充てんされ、凸部状の供試体が成型される。このためポス供試体は、構造体コンクリートの性能に損傷を与えることなく供試体の成型と採取ができ、さらに試験方法の容易性や採取後の補修などの問題を解消したものである。

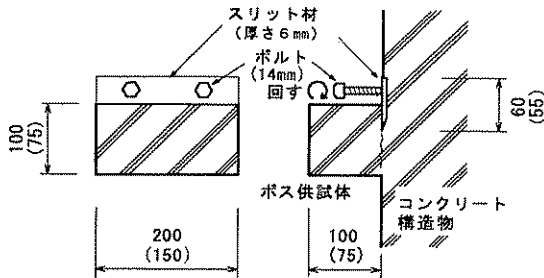


図 8.1 ポス供試体の概要<sup>17)</sup>

### 8.2 ポス供試体による強度試験

ポス供試体と標準コアの強度比較を図8.2に示す。両者はほぼ一致しており、ポス供試体による強度試験は実用化できるものと考えられる。

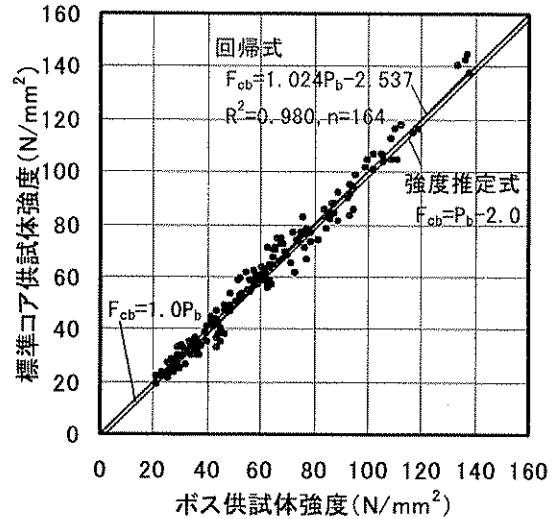


図 8.2 ポス供試体の強度試験結果<sup>18)</sup>

### 8.3 ポス供試体による耐久性評価

ポス供試体による中性化深さ、塩化物イオン浸透深さの実験結果は、図8.3および図8.4のとおりで

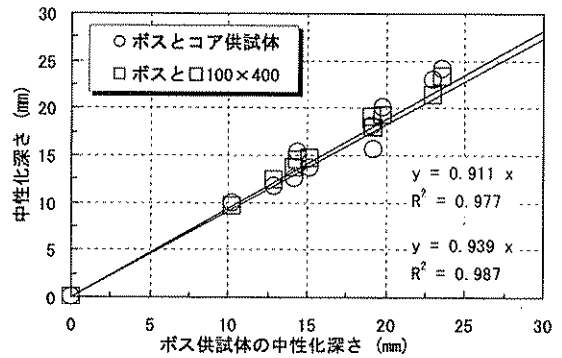


図 8.3 中性化深さ試験結果<sup>19)</sup>

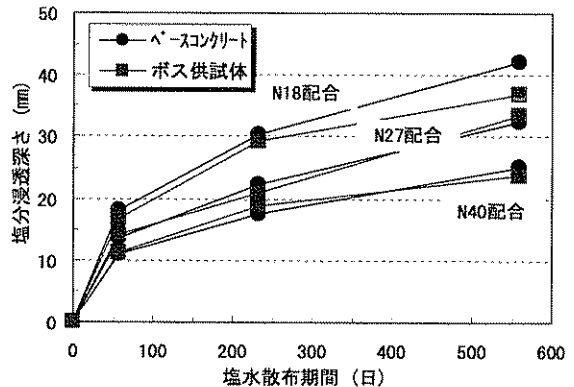


図 8.4 塩化物イオン浸透深さ結果<sup>20)</sup>

ある。ボス供試体の中性化深さ、塩化物イオン浸透深さ測定結果は、通常実施されているφ100mm コアによる結果とほぼ一致しており、ボス供試体により耐久性の評価は可能である。

## 9. 検査のための試験方法、検査方法の提案

### 9.1 実験のまとめ

実験結果をとりまとめると表 9.1 のとおりである。これらの結果をもとに、本研究の目的である検査に用いるための試験方法、それらの試験を用いた検査方法を提案した（共同研究報告書第 316 号）。

### 9.2 試験方法の提案

試験方法の目次構成は表 9.2 のとおりである。

#### (1) 適用範囲

新設構造物を直接検査するための各種試験方法を提案した。

構造物を直接検査するため、試験方法は非破壊試験を用いることになる。非破壊試験は、破壊しない、あるいは微小な破壊によってコンクリートの品質などを調査する方法であることから、何回でも試験できるという特徴を有する。そのため、これらの試験方法は、維持管理にも役立つ方法を目指して検討してきたものであり、多くの試験方法は既設構造物の試験にも適用可能である。また、新設時からこれらの試験方法を取り入れることにより、維持管理を計画的に実施できるようになるものと考えられる。

#### (2) 構成

試験方法は、検査項目ごとに分類している。

まずはじめに 2 章では、配筋状態、かぶり厚さの試験方法について規定した。配筋状態、かぶり厚さは重要な検査項目であるとともに、そのほかのほとんどの試験は鉄筋の影響を受けることから、鉄筋の影響を避けるためにも事前に配筋状態を把握しておくことが必要である。

次に 3 章では、コンクリートの強度推定のための試験方法について規定した。強度は、設計どおりの強度が確保されていること、そのことによって構造物の耐荷力が確認されるとともに、耐久性を大まかに判断できる指標ともなる、重要な検査項目である。

4 章では、主に初期の施工不良の検査を想定した試験方法を、5 章では、出来形のうち直接測定することのできない壁、スラブなどの厚さの試験方法を提案した。

この報告書の重要な特長の一つとして、6 章に耐久性の評価試験を設けた。新設時から炭酸ガスの拡散（中性化）や塩化物イオン量の浸透・拡散の対する抵抗性などを把握することにより、品質が劣っている場合は、早期に対処できることを目指している。

7 章では、維持管理のための試験方法についても提案した。

表 9.1 試験方法の目次

第 XVI 部	非破壊・局部破壊試験による品質・性能確認試験方法（案）
1 章	概要
1. 1	適用範囲
1. 2	構成
2 章	配筋状態、かぶり厚さ試験法（案）
2. 1	電磁波レーダ
2.1.1	電磁波レーダ A 法
2.1.2	電磁波レーダ B 法
2. 2	電磁誘導法
2. 3	パルス電磁力音響法によるかぶり厚さの検査
3 章	強度
3. 1	ボス供試体
3. 2	小径コアによる圧縮強度試験
3. 3	超小径コア
3. 4	超音波法
3. 5	衝撃弾性波法
4 章	初期不良に関する試験方法
4. 1	超音波法
4. 2	衝撃弾性波法
4. 3	打音法
4. 4	電磁波レーダ
4.4.1	電磁波レーダ A 法
4.4.2	電磁波レーダ B 法
4. 5	赤外線
5 章	部材厚さ試験方法（案）
5. 1	超音波法
5. 2	衝撃弾性波法
5. 3	打音法
5. 4	電磁波レーダ
5.4.1	電磁波レーダ A 法
5.4.2	電磁波レーダ B 法
6 章	耐久性
6. 1	中性化
6.1.1	ボス供試体
6.1.2	小径コアによる中性化抵抗性の評価試験方法
6. 2	緻密性試験
6.2.1	超音波法
6.2.2	衝撃弾性波法
7 章	維持管理
7. 1	中性化
7.1.1	ボス供試体
7.1.2	小径コアによる中性化深さの測定方法
7. 2	塩化物イオン
7.2.1	ボス供試体
7.2.2	小径コアによる塩化物イオン量の測定
7. 3	パルス電磁力音響法による鉄筋腐食状況の検査

表 9.1 研究成果の概要<sup>2)</sup>

試験方法の種類	測定項目	検討内容	研究成果	今後の課題	
非破壊	強度	精度向上(変動要因)	内部音速による強度推定方法の提案、材齢補正法の提案	高精度の精度向上、材齢補正の精度向上	
	超音波	表層の緻密性	耐久性指標との比較	音速と吸水率、中性化速度、塩化物イオン浸透速度と相関表層の緻密性の評価方法の提案	定量的な評価方法の確立
		部材厚さ	現場での実績	相対的な品質の確立	現場での実績、適用条件の拡大
		内部欠陥	相対的な品質の比較	厚さ測定方法の確立	現場での実績、適用条件の拡大
	弾性波	ひび割れ・はくり	直角回折波法の適用性	ひび割れ長さ、角度の測定方法の確立	現場での実績、適用条件の拡大
		強度	弾性波速度の求め方	表面縦弾性波の測定による弾性波速度測定方法の確立	弾性波速度から圧縮強度への換算式の決定方法の改善による測定精度の向上
		表層の品質	測定方法の確立	鋼球接触時間の比較による相対的な評価方法の確立	測定方法の改良による測定精度の向上
		部材厚さ	精度向上	表面縦弾性波速度の測定方法の確立により、測定精度向上	厚さ2500mm以上の測定方法の確立
	局部破壊	打音法	内部欠陥	現場での実績	実際の変状状況との比較
			ひび割れ・はくり	測定方法の確立	現場での実績、適用条件の拡大
電磁波		部材厚さ	精度向上のための課題	部材厚さの測定方法の確立	新設時、振幅比と部材厚さ関係式の材齢補正
		内部欠陥	現場での実績	空やジャンカ探査(平面規模、かぶり)が可能	厚い部材、周辺や背面の支持条件の影響の検討
		ひび割れ・はくり	相対的な品質の比較	はく離は平面規模、はく離面までの深さの探査が可能	平面規模が小さく深い空洞、ジャンカの探査が難しい
		かぶり厚さ	測定方法	コールドジョイント、打継ぎ面の付着の確認とその方向の探査が可能	空洞とジャンカの判別方法、深く狭い内部欠陥への対応
電磁誘導		鉄筋腐食	検出方法	かぶり厚さ測定方法	現場での実績、適用条件の拡大
		配筋状態	かぶりと間隔の関係	鉄筋腐食検出方法	現場での実績、適用条件の拡大
赤外線		内部欠陥	誘電率の求め方	配筋状態の確認方法	現場での実績、適用条件の拡大
		ひび割れ・はくり	位置、大きさ(種類)	双曲線法、鉄筋径を用いる方法の提案	現場での実績、適用条件の拡大
局所破壊	コア(内部)	電磁誘導	相対的な品質の比較	現場での実績、適用条件の拡大	
		赤外線	測定方法	水注入によるひび割れの確認方法	現場での実績、適用条件の拡大
	コア(外部)	強度	強度試験適用範囲の拡大と検査への適用	配筋状態の確認方法、かぶり厚さ測定方法	現場での実績、適用条件の拡大
		耐久性	塩化物イオン量	内部欠陥などの確認方法	現場での実績、適用条件の拡大
	ホース供試体	強度	試験方法	小径コアの強度増進の検討 強度検査方法の提案	強度検査方法の確立と実構造での適用性確認
		耐久性	塩化物イオン量	小径コアによる塩分分析法の提案	実構造での適用性確認
	非測定面の養生方法	強度	強度試験適用範囲	促進中性化試験方法の提案	実構造での適用性確認
		耐久性	塩化物イオン量	試験体個数の算出、強度試験方法の提案	実構造での実績
	非測定面の養生方法	強度	塩化物イオン量	寸法効果、モルタル強度に近づく	現場施工条件下における、強度のばらつき確認
		耐久性	塩化物イオン量	標準コアと同等の強度が推定できる	非測定面の養生方法
非測定面の養生方法	強度	塩化物イオン量	構造体と同等の塩分浸透深さ・塩分量を確認できる	非測定面の養生方法	
	耐久性	塩化物イオン量	構造体と同等の中性化深さを確認できる	非測定面の養生方法	

### 9.3 検査方法の提案

検査方法の目次は表 9.2 のとおりである。

非破壊試験を用いて新設構造物の配筋状態・かぶり厚さ、構造体コンクリートの強度、部材厚さを検査する方法について提案している。

3.1 節のボス供試体、3.2 節の小径コアを用いる強度の検査は、測定精度が高いことから、合否の判定が可能な方法になっている。

そのほかの検査方法である 2 章の配筋状態・かぶり厚さ、3 章強度の 3.3～3.5 節、4 章の部材厚さの検査については、測定精度を考慮した判定方法になっており、一次判定の位置づけになっている。一次判定で不合格になった場合は、原因を究明すること、さらに精度の高い方法によって検査すること、などを想定している。

なお、これらの検査を通じて異常な箇所が確認される場合がある。例えば、レーダによって配筋状態の確認の際、健全なコンクリートとは異なる反射波が得られることがある。あるいは、超音波による音速測定で異常に遅い音速が得られることがある。そのような場合、その付近に隠れたジャンカなど施工不良箇所などがあることが予想される。このような場合は、表 9.1 の 4 章の初期不良の試験方法によってその付近を調査するなど、試験方法を組み合わせることにより幅広く検査が可能になるものと考えている。

表 9.2 検査方法の目次

第XVII部 非破壊・局部破壊試験による検査方法の提案	
1 章	概要
2 章	配筋状態、かぶり厚さ検査方法 (案)
3 章	強度
3.1	ボス供試体
3.2	小径コアによる圧縮強度検査
3.3	超小径コア
3.4	超音波法
3.5	衝撃弾性波法
4 章	部材厚さ検査方法 (案)
4.1	超音波法
4.2	衝撃弾性波法
4.3	電磁波レーダ法

### 10. まとめ

本課題では、8 項目の検査項目について 10 種類の非破壊試験・局部破壊試験が検査に適用可能かどうかについて、何種類かの小型供試体による基礎実験、実構造物を

想定した大型供試体、実構造物による測定精度、実構造物への適用性などを確認し、研究目的である試験方法、検査方法を提案した。

以上の結果をとりまとめ、表 10.1 のように 6 冊の共同研究にとりまとめるとともに、表 10.2 のように対外発表などを行なった。表 10.2 の H17 年度については、投稿中、執筆依頼により了承したものも含めている。

国土交通省は、H17 年度から、レーダ法、電磁誘導法による配筋状態、かぶり厚さの検査を試行することになり、その試行要領 (案) に本研究の成果が取り入れられるなど、有用な成果を得ることができた。

また、表 10.3 のように特許出願するとともに、別に 2 件の出願を予定している。さらに、(社)日本非破壊検査協会において団体規格を作成中である。

今後、実構造物への適用を考えると、さらに試験する位置、頻度、判定値などを明確にする必要があることと、マニュアルを作成する必要がある。

### 謝辞

実構造物の実験では多くの地方整備局・河川国道事務所のご協力をいただきました。関係各位に深く感謝いたします。

表 10.1 共同研究報告書

整理番号	主な項目
299	研究計画 H14 年度の L 型供試体実験
300	H14 年度の実構造物の実験
309	H15 年度のボックス供試体実験など
314	H16 年度の壁供試体実験など
315	H15、16 年度の実構造物実験 実験のまとめ
316	試験方法、検査方法の提案

表 10.2 対外発表件数

	H15 年	H16 年	H17 年
非破壊検査協会 春季・秋季大会	14	12	11
土木学会年次大会	7	3	4
建築学会年次大会	1	3	4
コンクリート工学協会 年次大会	2	5	5
その他	9	11	11
合計	33	34	35

表 10.3 特許出願、規格の作成

特許	特願 2004-100035 号 コンクリートの簡易コア採取方法及び装置
規格	(社)日本非破壊検査協会 NDIS 3424 ボス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法 (審議中)

【参考文献】

- 1) 森濱和正ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 共通 その 1 研究概要」日本非破壊検査協会 平成 15 年春季大会講演概要集、pp.125-126、2003.5
- 2) 森濱和正ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 共通 その 7 研究のまとめ」日本非破壊検査協会 平成 17 年春季大会講演概要集、2005.5
- 3) 森濱和正ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究報告書(6) 第XVII部 非破壊・局部破壊試験による検査方法の提案 2 章配筋状態、かぶり厚さ検査方法(案)」共同研究報告書第 316 号、pp.106、2005.3
- 4) 森濱和正ほか「非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋かぶり・径の計測に関する研究 第 2 報 レーダ法および衝撃弾性波法」非破壊検査、Vol.52, No.12, pp. 691-696、2003.12
- 5) 中村英佑ほか「鉄筋径を利用した非破壊試験による比誘電率分布とかぶりの推定」コンクリート工学年次論文集、Vol.27, No.1、2005.6
- 6) 山口順一郎ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 電磁波レーダ法 その 4 電磁波レーダ法での非破壊による比誘電率推定とかぶり厚さの推定精度」日本非破壊検査協会 平成 17 年春季大会講演概要集、2005.5
- 7) 森濱和正ほか「非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋かぶり・径の計測に関する研究 第 1 報実験概要および超音波法」非破壊検査、Vol.52, No.9, pp. 497-503、2003.9
- 8) 森濱和正ほか「超音波によるコンクリート版内の最速経路の予測と版厚測定に関する研究」非破壊検査、Vol.48, No.5, pp.294-302、1999.5
- 9) 森濱和正ほか「超音波法による大型供試体のコンクリート強度、緻密性の推定」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.31-36、2003.7
- 10) 森濱和正ほか「超音波法によるコンクリートの品質

評価」土木学会 弾性波法によるコンクリートの非破壊検査に関する委員会報告およびシンポジウム論文集、コンクリート技術シリーズ 61、pp. 273-280、2004.8

- 11) 森濱和正ほか「超音波法による塩化物イオン、炭酸ガス拡散性の評価」日本コンクリート工学協会「自然環境とコンクリート性能評価」に関するシンポジウム、2005.6
- 12) 佐藤文則ほか「小径コアによる構造体コンクリート強度の推定精度に関する一考察」土木学会第 59 回年次学術講演会第 V 部、pp.305-306、2004.9
- 13) 尾形武志ほか「小径コア (φ10mm) を用いて試験したコンクリートの圧縮強度に関する研究 (その 2)」日本建築学会大会学術講演梗概集 A-1、2005.9
- 14) 片平博ほか「コア試験体の小径化が圧縮強度に与える影響に関する実験的研究」コンクリート工学年次論文集、Vol.26, No.1, pp. 399-404、2004.7
- 15) 森濱和正ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究報告書(3) 第 V 部 小型壁 (塩水散布) 供試体 5 章 小径コアによる塩化物イオン量」共同研究報告書第 309 号、pp. V.5-1~4、2005.1
- 16) 佐藤文則ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究 小径コア法 その 3 小径コアによる塩化物イオン量の測定について」日本非破壊検査協会 平成 17 年春季大会講演概要集、2005.5
- 17) 篠崎徹ほか「ボス供試体による高強度コンクリートの構造体強度の推定法に関する研究」日本建築学会技術報告集第 16 号、pp.41-44、2002.12
- 18) 土田克美ほか「非破壊・局部破壊試験によるコンクリート構造物の品質検査に関する共同研究ボス供試体 その 2 ボス供試体によるコンクリート構造物の強度管理に関する研究」日本非破壊検査協会平成 17 年春季大会概要集、2005.5
- 19) 土田克美ほか「ボス供試体による中性化深さの検討」土木学会第 59 回年次学術講演会第 V 部、pp. 289-290、2004.9
- 20) 土田克美ほか「ボス供試体による塩分浸透量の検討」土木学会第 60 回年次学術講演会第 V 部、2005.9