

小径コア等を用いた微破壊および非破壊試験による新設コンクリート構造物の品質管理・検査手法に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 17～平 19

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、非破壊試験または微破壊試験によって構造物の品質を検査する方法を提案することを目的に実施した。また、検査結果を初期値として維持管理に適切に適用するための基礎の確立をめざした。

その結果、非破壊試験によるかぶり厚さ、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、微破壊試験による精度の高い強度試験などを確立、これらの試験方法による RC 構造物の検査方法を提案した。

キーワード：コンクリート構造物、非破壊試験、微破壊試験、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の現状は、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。例えば、コンクリートの代表的な検査項目である圧縮強度にしても、納入されたコンクリートを採取して円柱供試体を作製し、20℃水中養生で 28 日材齢の強度試験を行っており、養生条件、環境条件などの異なる構造体コンクリートの強度を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、H14-16 年度には「非破壊・局部破壊試験による硬化コンクリートの品質検査方法に関する研究」（以下、前課題）を行い、新設コンクリ

ート構造物の性能を確認する試験方法を提案した。

一方で、現場においては低入札などによって疎漏工事の問題発生が危惧されるなど、品質確保が重要な課題になっており、H17 年には公共工事の品質確保法が制定されている。このようなことから、国土交通省では管理・検査を強化してきており、H17 年には鉄筋の配筋状態およびかぶり、H18 年にはコンクリート強度を非破壊・微破壊試験によって推定する試行が実施されている。試行の実施にあたって、測定要領案を前課題の成果をもとに作成し、試験方法、試験する位置、頻度、判定基準なども暫定的に盛り込んでいる。しかしながら、前課題の成果報告¹⁾でも今後の課題として取り上げているとおり、実際の検査データに基づき頻度、判定基準などをより適切なものに改良する必要が

表 2.1 対象とした検査項目と試験方法

検査項目	試験方法	非破壊試験							微破壊試験					
		電磁波		電・弾		弾性波			打撃		小径コア	超小径コア	ボス供試体	
		レーダ	電磁誘導	赤外線サーモグラフィ	パルス電磁力音響法	超音波	iTECS 法	衝撃弾性波表面 2点法	打音法	機械インピーダンス法				リバウンドハンマ
実施期間 ¹⁾		□■	□■	□	□■	□■	□■	■	□	■	■	□■	□■	□■
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(緻密性)					○	○			○				
	内部欠陥	○		○		○	○		○					
	部材の厚さ	○				○	○		○					
点検(経時変化)		継続調査	継続調査	継続調査	さび	継続調査	継続調査					中性化塩分量		中性化・塩分浸透深さのモニタリング

1)実施期間 □: 前課題(H14-16年)実施、■: 本課題(17-19年)実施

ある。

このようなことから、本課題では、地方整備局の協力のもとに、多数の実構造物によって非破壊・微破壊試験を行い、測定精度などを確認し、試験頻度、判定基準などの検討を行い、検査マニュアルを提案することを目的に実施した。また、前課題からの目的でもある、検査結果を初期値として維持管理時に適用できる点検方法についても、供試体や一部の構造物による数年経過後の測定も行い、経年変化を確認できるのかについて検討した。

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・微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。表中には試験方法ごとの実施期間の欄を設けている。□は、前課題で検討したもの、■は本課題で検討したものである。多くの試験方法は継続して検討しているが、赤外線サーモグラフィと打音法は前課題のみ、本課題では衝撃弾性波の表面2点法、機械インピーダンス法、リバウンドハンマの3方法を追加している。表面2点法、機械インピーダンス法は、簡易な強度推定方法として使用できる可能性があること、リバウンドハンマはH13年より品質管理に用いられていることから、並行して検討した。

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ないか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によって配筋状態を確認する際に同時に行う。配筋検査は、その

表 2.2 構造物、供試体の概要

種別	名称	構造物・部材	幅*高さ*奥行(m)	測定時期	測定面	コンクリートの種類	調査位置	文献	
構造物	L	橋脚 3基	柱	2.5*約10*2.2	新設	側面	N30	1面Nの上中下段	2)
			フーチング	23*2.8*12.35		側面	BB27	上下2箇所ずつ	
	M	上部工 下部工	主桁	中央までの長さ35.6	新設	側面	H36	端面(左右、中央)、両側面(中央、垂直材上)	
			垂直材 フーチング	10*8.5*0.5 10*2.25*3.25		側面 側面		下段(左右、中央) 中段(左右、中央)	
	N	上部工 下部工	主桁	1径間約35、2径間	新設	側面	H36	端面(左右、中央)、両側面(中央、端部)	
			フーチング	6*1.5*5		側面	BB24	4面中段中央	
	Q	下部工	パラペット	10*0.7*2.8	新設	側面	BB27	中段(左右、中央)	
			壁	10*1.8*1.2				中段(左右、中央)	
			フーチング	10*1.5*5				中段(左右、中央)	
	R	上部工	主桁	3径間135	新設	側面	H36	1径間ごとに両端部付近、中央	
	S	下部工	柱	5*2*5.6	新設	側面	BB30	上段、中段、下段	
			フーチング	8.5*1.9*6.7			BB27	4面中段中央	
	T	下部工	壁	13.1*7.25*6.5	5ヵ月	側面	BB24	前面中央・端部、側面両端部の上中下段	
	U	舗装	スラブ	厚さ0.3	6.5年	打設面	N曲げ4.5	新設時測定2箇所、新たに5箇所	
側壁			12*0.5*6.2	打設面		BB24	両側面、打設面の両端部付近		
V	ボックス カルバート	側壁	12*0.6*5.9	新設	側面		BB24	両側面、端部付近の上、中、下段	
		底版	12*0.6*6.2		打設面	両側面、打設面の両端部付近			
W	ボックス カルバート	頂版	12*0.7*8.2	新設	打設面	BB24	両側面、打設面の両端部付近		
		側壁	12*0.8*7.2		側面		両側面、中央の上段、下段		
99年 供試体	A	スラブ	2.2*0.3*1.3	7.8年 経時 変化	打設面	H18	中央		
	C	壁	2.2*1.4*(0.1~0.6)	側面	H18	中央			
L型 供試体	A	壁	2.55*1.8 *(0.28~0.65)	4.9年 経時 変化	側面	N18	中央		
	B				側面(斜面)	N27	上段、中段、下段、左右、中央		
	C				側面	N40	中央		
ボックス 供試体		頂版	2.9*(0.2~0.35)*4.1	4.1年 経時 変化	打設面	N30	かぶり厚さの異なる数箇所		
		側壁(厚壁)	0.6*1.95*4.1		側壁 (内外面)	N18	内外両面の中段の左右		
		側壁(薄壁)	0.3*1.95*4.1		側壁 (内外面)	N45	内外両面の中段の左右		
		底版	2.9*0.3*4.1		打設面	BB30	かぶり厚さの異なる数箇所		
壁 供試体	1	壁	2.0*1.5*0.30	3.0年 経時 変化	側面	N18	上段、中段、下段、左右、中央		
	2					N24	中段中央		
	3					N30	中段中央		
	4					N60	中段中央		
	5					BB24	中段中央		

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で代用している。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、微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おける点検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した。

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 実験した構造物、供試体の概要

実験は表 2.2 のとおり、主に新設構造物による非破壊・微破壊試験の精度、適用性などの検討、経年変化を確認するため前課題などで作製した大型供試体による実験を行なった。実験に用いたコンクリートの配合

表 2.3 コンクリートの配合

種別	名称	部材	コンクリート種類	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 ³)					文献		
									水	セメント	細骨材	粗骨材	混和剤 AE減水			
構造物	L	C	N30	20	8	4.5	49.5	42.3	157	318	776	1065	3.39	2)		
		F	BB27				51.5	42.9	153	297	794	1065	3.16			
	M	B,W,F	H36	20	12	4.5	41.6	39.0	163	392	681	1095	4.31			
	N	B	H36	20	12	4.5	41.6	39.2	172	414	664	1038	4.14			
	P	F	BB24	20	8	4.5	55.0	44.3	156	284	814	1062	3.04			
	Q	P,W,F	BB27	20	8	4.5	52.5	44.4	158	301	810	1048	3.01			
	R	B	H36	20	15	4.5	41.7	43.8	165	396	766	996	3.76			
	S	C	BB30	20	8	4.5	48.6	44.2	162	334	801	1032	3.34		3)	
		F	BB24				52.0	45.0	161	310	827	1029	3.10			
	T	W	BB24	20	8	4.5	54.5	47.4	156	287	865	988	4.29		3)	
C		BB30	15		4.5	47.5	47.4	171	360	816	934	5.39				
U	S	N曲げ4.5	40	2.5	4.5	40.0	34.1	139	348	619	1223	3.48	4)			
V	S,W	BB24	25	8	4.5	51.9	41.5	150	289	767	1079	3.47				
W	S,W	BB24	25	8	4.5	55.0	48.4	161	293	889	961	3.81	4)			
99年	A,C	S,W	H24	20	8	4.5	62.4	44.1	156	250	821	1075	0.781	5)		
L型供試体	A	W	N18	25	8	4.5	63.0	44.9	158	251	824	1026	2.69	6)		
	B	W	N27				49.5	43.2	158	320	771	1023	3.42			
	C	W	N40				38.0	41.0	159	419	696	1015	4.48			
ボックス供試体	S	N30	20	8	4.5	50.0	42.9	163	326	783	1050	3.46	7)			
	W	N18				35.0	39.9	163	466	686	1072	5.13				
	W	N45				12	3.0	70.0	47.0	161	230	885		1031	2.44	
	S	BB30				8	4.5	50.0	42.2	161	322	773		1058	3.41	
壁供試体	1	W	N18	20	8	4.5	67.0	44.9	160	239	849	1049	2.55	8)		
	2		N24				57.5	43.5	157	274	813	1065	2.92			
	3		N30				49.5	42.3	157	318	776	1065	3.39			
	4		N60				15	3.0	30.0	42.5	160	534	710		970	6.94
	5		BB24				8	4.5	56.5	43.6	153	271	818		1065	2.89

部材 B:主桁、C:柱、W:壁、P:パラペット、S:スラブ、F:フーチング

コンクリート種類 アルファベットはセメントの種類、数字は呼び強度。

N:普通ポルトランドセメント、H:早強ポルトランドセメント、BB:高炉セメントB種

は表 2.3 のとおりである。

以下、主な検討内容について記述するが、試験方法、検討項目は多岐にわたるため、次の項目に関わる検討結果を紹介する。

- ① 国土交通省の試行に関連する事項
- ② 経年変化の検討結果
- ③ 前課題以降新たな試験方法、規格などに関わる事項

3. かぶりの測定

3.1 レーダ法

3.1.1 測定精度

レーダ法によってかぶりを測定する場合、比誘電率の設定が重要であり、前課題において「鉄筋径法」を提案した。その方法については土研 HP に測定方法を公開しているため説明は省略する。

鉄筋径法によって補正したかぶりの結果は図 3.1～3.3 のとおりである⁹⁾。横軸は小径コアを採取してかぶりを実測した結果、縦軸は誤差＝レーダによる測定結果－実測値である。

図 3.1 は上部工の結果である。設計かぶりは、スターループ（縦筋）が 35mm、横筋は縦筋の径によって多少異なるが 50mm 程度である。かぶり実測値は 32～77mm の範囲内にあり、かぶりが不足するマイナス側の誤差はほとんどないが、プラス側は最大 20mm 以上の施工誤差がある。測定誤差は、レーダの測定精度が低いと考えられていた 50mm 以下を含め、±15%を超える結果も数点あるが、多くの結果は±15%以内である。鉄筋径法を用いることによりコンクリート表面近くの比誘電率分布を考慮して補正しているため、かぶり厚さが小さい場合でも、比較的精度良く測定されているものと考えられる¹⁰⁾。

図 3.2 は下部工（柱、壁、フーチング）の結果である。設計かぶりは、一部を除き 100～142mm、鉄筋の間隔／かぶり比は 2 倍以下が多く、一部にはレーダの検出性能の限界である 1 倍以下もあり、このように鉄筋間隔が密な箇所では実際にほとんど探査は不可能であった。実測では 70～176mm の範囲でばらついており、施工誤差が 40mm 程度もあること、かぶりが深い場合、施工誤差によってより測定を困難にしているものと考えられる。測定誤差は、±15%以上は数点であり、ほとんどは±15%以内の結果であった。

図 3.3 はボックスカルバートの結果である。設計かぶりは、上・下部工の間であり 68～93mm である。間隔／かぶり比は 2 倍以上である。実測値は 72～129 mm

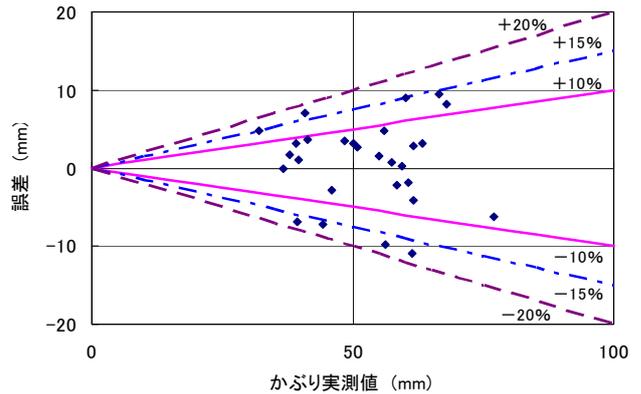


図 3.1 橋梁上部工試験結果

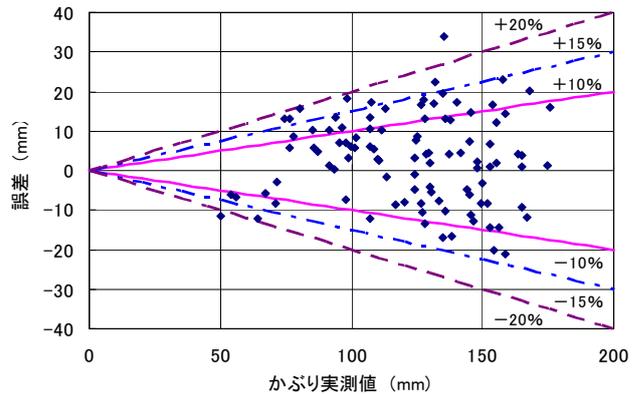


図 3.2 橋梁下部工試験結果

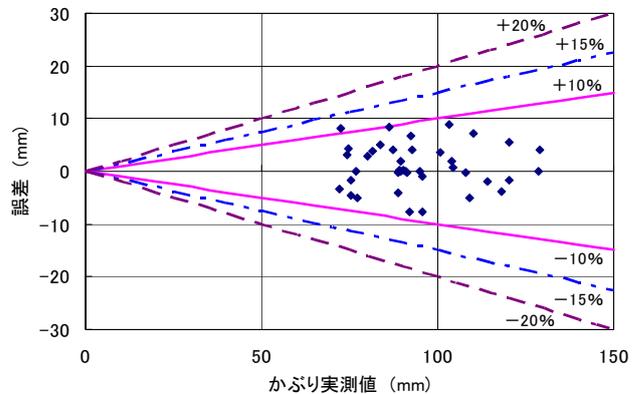


図 3.3 ボックスカルバート試験結果

であり、プラス側の施工誤差が大きい。測定誤差は、1 点を除き±10%以下であった。

測定精度を詳細に検討するため、±5%、±10%、±15%以内、±15%以上に分けて測定数と率を、構造物ごとに求めると表 3.1 のようになった。上部工については、かぶり厚さ 50mm 以下と以上に分けて求めている。下部工はボックスカルバートの結果と範囲を合わせて比較するために 130 mm 以下と、全範囲に分けて求めている。

レーダは、かぶり 50mm 以下の測定精度に問題があるといわれていたが、上部工について、50mm 以下と

表 3.1 かぶり測定誤差の分布

範囲	上部工						下部工				ボックスカルバート	
	①50mm以下		②50mm以上		③=①+②		130mm以下		全範囲		数	率
	数	率	数	率	数	率	数	率	数	率		
±5%以下	6	35.3%	3	27.3%	9	32.1%	13	23.6%	29	29.0%	29	72.5%
±10%以下	12	70.6%	7	63.6%	19	67.9%	33	60.0%	65	65.0%	39	97.5%
±15%以下	15	88.2%	8	72.7%	23	82.1%	48	87.3%	91	91.0%	40	100.0%
±15%以上	2	11.8%	3	27.3%	5	17.9%	7	12.7%	9	9.0%	0	0.0%
全数	17	-	11	-	28	-	55	-	100	-	40	-

以上の結果と比較しても、遜色ない結果が得られている。鉄筋径法により精度向上がはかられたものと考えられる。

下部工の130mm以下とボックスカルバートの結果を比較すると、後者の誤差はほとんど±10%以下であるが、前者の誤差は±10%以下に60%が存在する。かぶりの範囲はほとんど同じにもかかわらず下部工の誤差は大きくなっている。この原因は、かぶりと鉄筋間隔の関係と鉄筋径の違いと考えられる。下部工は、鉄筋間隔が狭く、かぶりが深いいため、間隔/かぶり厚さ比が小さく、しかも太い鉄筋が使用されているために誤差が大きくなったものと考えられる。

下部工の全範囲の結果は、130mm以下の場合よりも多少改善されている。かぶりが深くなることにより相対的に精度が向上したものと考えられる。

この測定精度より、判定基準について検討する。国交省が実施している試行の判定基準は、測定誤差を±20%見込んでいる。今回の測定結果より、上部工および下部工は、±10%以内にほぼ1σ（測定結果の65%程度）であり、2σ程度を判定基準と考えれば、ほぼ妥当である。同様に考えると、ボックスカルバートの判定基準は、±10%程度にできるものと考えられる。

3.1.2 そのほかの検討事項¹¹⁾

下部工のように鉄筋径が太く、かぶりに対して間隔が狭い場合、測定は難しくなるため「電磁波レーダ法による鉄筋の位置とかぶり測定が困難な場合の対処方法」を、逆にボックスカルバートのように測定条件が厳しくない場合、測定効率を上げるために「レーダ法におけるシート測定方法」を提案し、土研HPに公開した。

鉄筋径法は、格子状に配筋された縦筋と横筋が緊結されていることを前提にした方法であるが、実際には、鉄筋が離れている場合があること、測定誤

差も含まれることから、適用にあたっての注意点もHPに追加した。

3.2 電磁誘導法

3.2.1 電磁誘導法の測定精度

電磁誘導法によって測定したかぶりの誤差と実測値の関係は図3.4のとおりである¹²⁾。レーダと同じ位置を測定した結果であるが、全体的にはかぶりが100mm程度以上は測定できていない。設計では100mm以下であっても、施工誤差があるため実測値は100mmを超えて測定できない場合があり、測定装置は施工誤差も考慮して選定する必要がある。誤差は、実測値が大きくなるほど大きくなる傾向があり、一部の結果を除きほとんどは±10%以内に入っている。以下、構造物ごとに考察する。

上部工の設計かぶりは、縦筋35mm、横筋50mm前後に対し、実測値は32~77mmの範囲であった。誤差は、図3.4のようにほぼ±10%以内に入っている場合と、丸で囲っている-10%よりも小さい場合に分かれている。後者について詳細な検討が必要であるが、上部工の内部にはシース、PC鋼線が入っており、それらの位置と測定位置の関係を確認する必要がある。

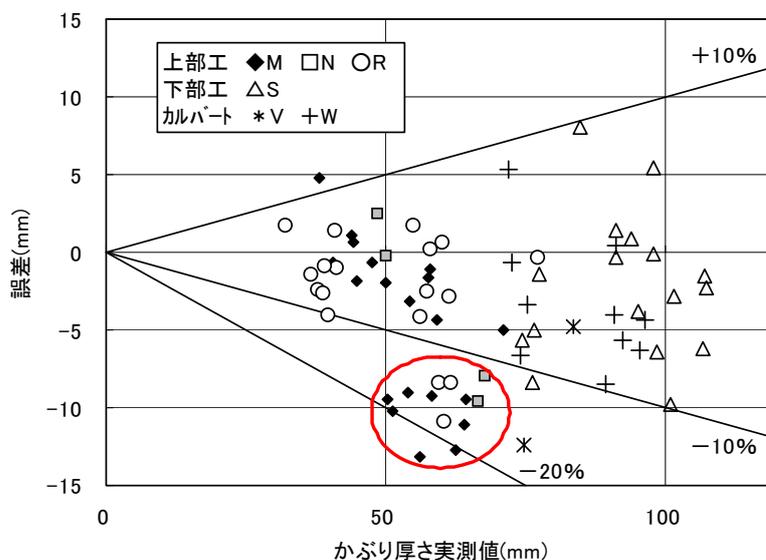


図 3.4 かぶり実測値と誤差

下部工の設計かぶりはほとんど 100mm 以上であるが、測定できた構造物 S は、フーチングの設計かぶりが横筋 81mm、縦筋 100mm であり、横筋の測定が可能であった。横筋の実測値は 74~94mm であり、施工誤差は±10 数 mm である。また、柱の 1 面については、横筋の設計かぶり 113mm に対し実測値は 91~108mm の範囲であり、施工誤差が-5~22mm あったために測定可能であった。測定精度はほぼ±10%以内である。柱の反対の面の実測値はないが、レーダによる測定結果は設計値より大きくなっており、かなり片寄った配筋状態であった。

ボックスカルバートは、主鉄筋の中心が表面から 100mm で設計されており、かぶり厚さの設計値は鉄筋径によって 68~89mm に対し実測値は 72~129mm の範囲であり、施工誤差は 40mm 程度であった。実測値 100mm よりかなり大きい部分の測定は不可能であったが、測定できた範囲内の測定精度はほぼ±10%以内である。

電磁誘導による誤差を詳細に検討するため、表 3.2 および表 3.3 のようにまとめた。表は、プラス側の誤差、マイナス側の誤差ごとに、5%ずつの範囲で測定数と比率を示し、プラス側、マイナス側の合計、±5%以内、±10%以内、±10%以上の範囲の比率を示している。上部工は、図 3.4 の丸で囲んだ部分を含まない場合と、含む場合についても求めている。

3 工種とも、マイナス側の比率がプラス側の約 2 倍または 4 倍になっており、マイナス側、つまり実測値より小さく測定する傾向があることを示している。

誤差の範囲ごとの比率は、上部工の場合(図 3.4 の丸で囲んだ部分を含まない場合)、±5%以内に 67.9%、10%以内にほとんど含まれており、丸で囲まれた誤差の大きい部分の原因が明らかになり、その原因を回避することができれば、判定基準を±10%に出来る可能性がある。

下部工およびボックスカルバートの場合、±5%以内に 48.5%、10%以内に 93.9%となっている。近接鉄筋の影響を補正すれば精度向上が図られるため¹³⁾、この場合も判定基準を±10%に出来る可能性がある。

3.2.2 近接鉄筋の補正

上述したとおり、電磁誘導法はその原理から、近接鉄筋の影響を受け、かぶり厚さを小さく推定する傾向がある。測定精度を向上するためには、近接鉄筋の影響を補正する必要がある。その方法を提案し¹³⁾、土研 HP に掲載した。

3.3 測定位置に関する検討

多くの実構造物について非破壊試験によるかぶり測定後、小径コアを採取して実測した。その結果、施工誤差が数 10mm もあり、配筋状態は次のような傾向があることが明らかになった(図 3.5)。

- ① 高さ方向に傾き、はらみ・へこみ
- ② 断面内の配置は、移動、回転、はらみ・へこみ

図 3.5 のような配筋状態になっていることが多いことから、測定位置は、高さ方向に数点測定して傾きなどを確認すること、側面は隅各部の位置を把握することによって全体の配筋位置を確認すること、幅の広い壁のような場合は、中間付近も測定してはらみ・へこ

表 3.3 かぶり厚さ測手誤差の分布
(下部工およびボックスカルバート)

範囲	下部工、ボックスカルバート			
	数	率 (%)	+、-合計	各範囲に占める比率
+10%以上	0	0.0	18.2	10%以上
+10%以下	3	9.1		10%以下
+5%以下	3	9.1		5%以下
-5%以上	13	39.4	81.8	48.5
-10%以上	12	36.4		93.9
-10%以下	2	6.1		6.1
合計	33	100		100

表 3.2 かぶり厚さ測手誤差の分布 (上部工)

範囲	上部工							
	図2の丸囲い含まず			各範囲に占める比率	全数			各範囲に占める比率
	数	率 (%)	+、-合計		数	率 (%)	+、-合計	
+10%以上	1	3.6	32.1	10%以上	1	2.4	21.4	10%以上
+10%以下	2	7.1		10%以下	2	4.8		10%以下
+5%以下	6	21.4		5%以下	6	14.3		5%以下
-5%以上	13	46.4	67.9	67.9	13	31.0	78.6	45.2
-10%以上	6	21.4		96.4	6	14.3		64.3
-10%以下	0	0		3.6	14	33.3		35.7
合計	28	100		100	100.0	42		100

みを確認する必要があるものと考えられる。

3.4 かぶりに関するまとめ

以上の結果より明らかになったこと、試行要領などへの反映すべきことは、次のとおりである。

- ① 現場より1種類の測定装置で上部工・下部工の測定ができないか、という要望が強い。レーダにより広範囲のかぶりに対して試行要領の判定基準を満たす測定が可能である。
- ② 電磁誘導法はかぶり100mm以下の適用となるが、測定精度はレーダより高い。
- ③ 装置の選定は、施工誤差も考慮したかぶりの測定範囲、測定精度を考慮する必要がある。
- ④ 判定基準は、測定装置、構造物・部材の種類（配筋条件）により厳しい方向に見直しが可能である。

4. 微破壊による強度試験

4.1 小径コアおよび超小径コア

4.1.1 小径コア強度および超小径コア強度の精度

φ25mm 小径コア強度と基準としたφ100mm またはφ70mm コア強度を比較した結果が図4.1である。強度が70~80MPa程度になると小径コア強度は下がる傾向があるが、50MPa程度までは両者はよく一致しており、小径コア強度は構造物コンクリート強度を確認できる方法として採用できることがわかる。

φ10mm 超小径コアについて、小径コア強度と比較した結果が図4.2である。比較できるものは少なかったが、両者はよく一致しており、超小径コアも十分管理・検査に使用できる可能性がある。

4.1.2 小径コア専用小型試験機による現地試験^{14),15)}

(超)小径コアは径が小さいため強度試験に必要な



写真4.1 小径コア専用小型試験機

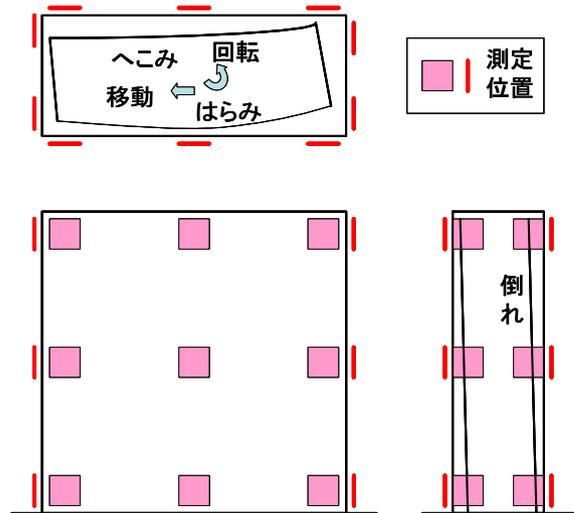


図3.5 配筋状態と測定位置

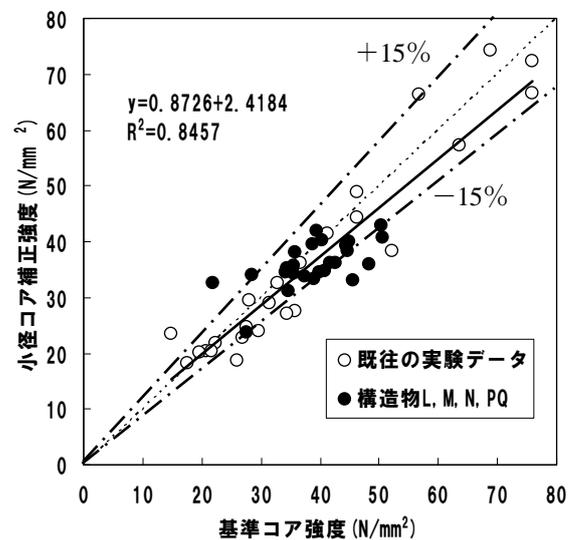


図4.1 小径コア強度

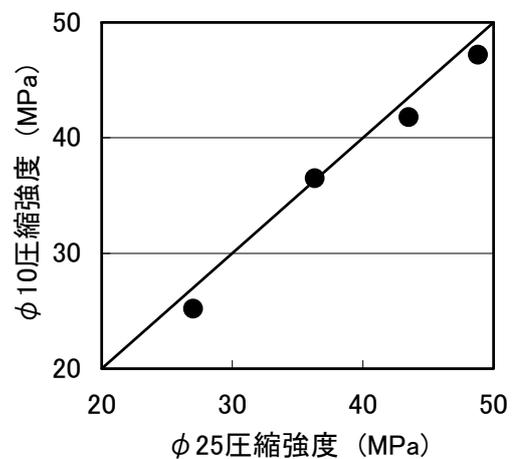


図4.2 φ10超小径コア強度とφ25小径コア強度の比較

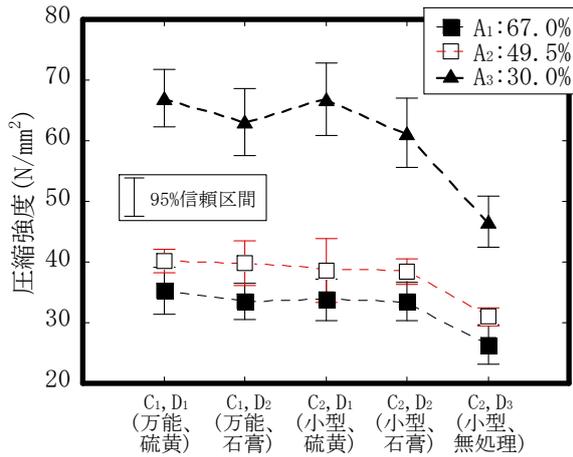


図 4.3 小型試験機による小径コア強度の検討

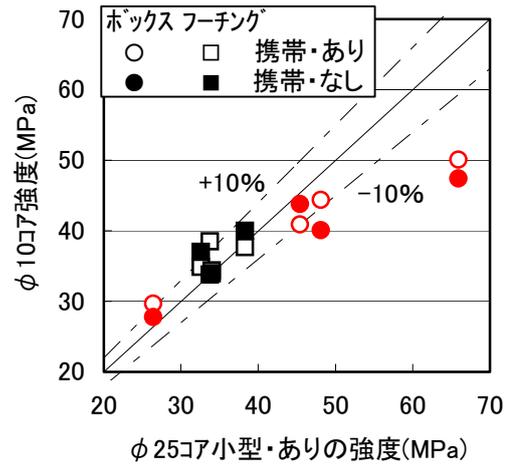


図 4.4 コア型試験機による超小径コア強度の検討

荷重は小さいことから、小型の強度試験機を用いて現地で強度試験できるのではないかと考え、小型試験機を試作し(写真 4.1)、試験条件について検討した後、現地試験を行なった。

試験条件の検討は、主に端面の処理方法である。小径コアは、通常の硫黄キャッピングに対して、現地で加熱器を必要としない石膏キャッピングの検討を、W/C (A₁~A₃) の異なるコンクリートで行なった(図 4.3)。超小径コアはアンボンドキャッピングの検討を行なった(図 4.4)。凡例は、携帯型の小型試験機を用い、キャッピングのあり、なしである。

いずれも、これまで標準的に行なってきた方法による強度と比較し、高い強度になると低下する傾向があるものの、50MPa 程度までであれば両者はほぼ一致している。現地における品質管理などに、小型試験機による強度試験結果は十分適用可能である。

4.2 ボス供試体

4.2.1 ボス強度の精度

ボス強度とφ100mm またはφ70mm 標準コア強度またはφ25mm 小径コア強度を比較した結果が図 4.5 である。凡例の「過去の実験結果」は、ボス供試体を開発したときの室内実験結果であり、小さい記号で示している。本課題による実構造物の強度試験結果を大きい記号で示している。実構造物の結果は、開発時よりもバラツキは大きくなっているものの、両者の関係はほぼ一致している。バラツキが大きくなった原因は、比較対象の多くが小径コア強度であること、実構造物では打設計画や締固め、降雨、養生温度など様々な要

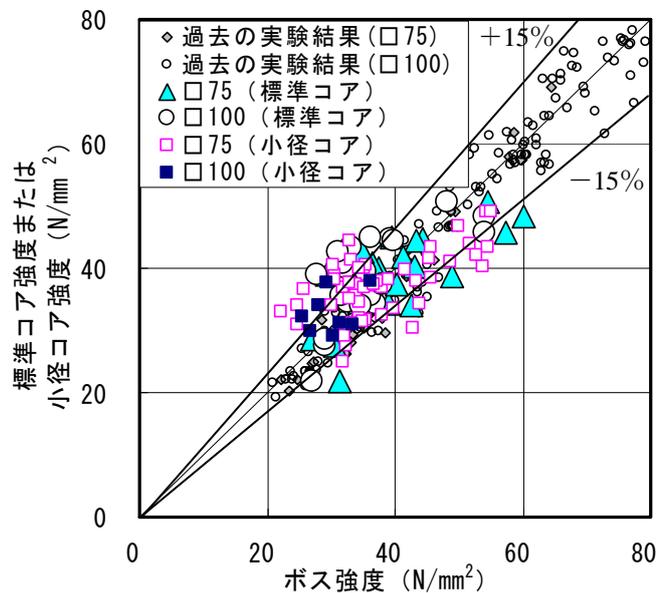


図 4.5 ボス強度と標準コア強度または小径コア強度の比較

因が影響した可能性があるものと考えられる。

4.2.2 粗骨材最大寸法とボス型枠の大きさの検討¹⁶⁾

ボス供試体の作製および強度試験は、開発した企業および前課題の成果をもとに、日本非破壊検査協会規格 NDIS 3424 「ボス供試体の作製方法及び圧縮強度試験方法」が 2005 年に制定された。この規格では、粗骨材最大寸法 (Gmax) によってボス型枠の大きさが決められており、Gmax 20 または 25mm は 100×100×200mm (以下、□100 と表記する) または□75 の型枠を使用し、Gmax 40mm は□125 を使用することになっている。また、国土交通省の微破壊試験による強度試験では、□100 および□75 の構造体コンクリート強度の求め方は示されているが、□125 は示されていない。

このようなことから、□125 を用いた場合の構造体

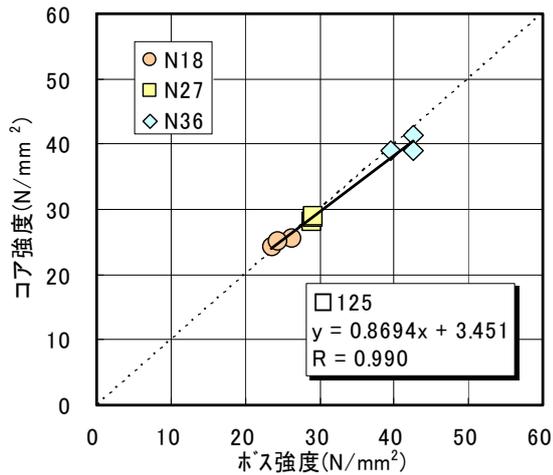


図 4.6 □125 ボス強度とコア強度の比較

コンクリート強度の求め方を提案すること、□125 は大きく重いため割り取るのが大変であり危険性を伴うことから、Gmax 40mm でも□100 のボス型枠を使用できないかを検討した。

□100 と□125 のボス型枠を近接して取付け、Gmax 40mm の粗骨材を用い、水セメント比の異なる3種類、スランプ8cmのコンクリートを打ち込んで供試体を作製し、コンクリートの充填状況の確認、ボス強度試験およびボス供試体から採取したφ100mm コア強度試験を行い、強度の比較を行なった。

充填状況は、□100 のボス型枠にも隅々にまで良く充填されており、Gmax 40mm のコンクリートに□100 のボス型枠を用いても十分な充填性が得られた。

強度試験結果は図 4.6～4.8 のとおりである。

図 4.6 と図 4.7 はコア強度とボス強度の比較であり、図 4.6 が□125 ボス強度、図 4.7 が□100 ボス強度の結果である。□125、□100 のボス強度ともコア強度とほぼ一致しており、□125 ボス強度はφ100mm コア強度と同じと扱って良いものと考えられる。

図 4.8 は、□125 ボス強度と□100 ボス強度の比較であり、両者はよく一致している。

Gmax 40mm のコンクリートに□100 のボス型枠を用いても、充填性、強度に問題はなく、使用することが可能であることが明らかになった。

今後、NDIS 3424 の改訂の貴重な資料となる。

4.3 微破壊による強度試験のまとめ

小径・超小径コア、ボス供試体に関する以上の実験の結果明らかになったこと、試行要領などへの反映すべきことは、次のとおりである。

① 実構造物における強度結果は、さまざまな影響を

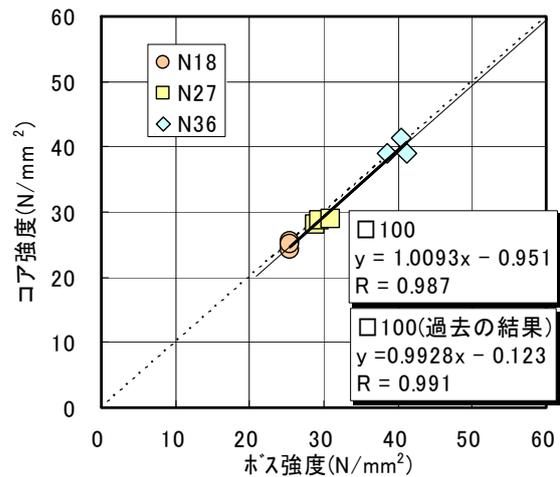


図 4.7 □100 ボス強度とコア強度の比較

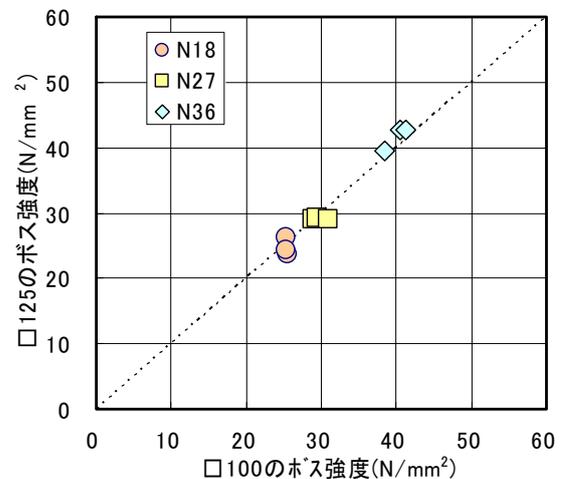


図 4.8 □125 ボス強度と□100 ボス強度の比較

受けるため、開発時の結果よりもバラツキは大きくなったものの、基準とした強度とほぼ一致した。

- ② 小径・超小径コアは、現地で品質管理などを行うための小型の強度試験機を試作し、強度試験方法を提案した。
- ③ ボス供試体については、Gmax 40mm の場合に用いるボス型枠の検討を行い、□125 のみでなく、□100 のボス型枠も使用可能であることを確認した。

5. 非破壊試験による強度推定

5.1 超音波法

5.1.1 強度推定精度¹⁷⁾

超音波法による強度推定結果と小径コア強度の比較は図 5.1 のとおりである。図 5.1 の一点鎖線は、小径コア強度の±15%を示しており、多くの結果は±15%程度で推定できていることがわかる。

ただし、一部の結果はコア強度よりもかなりはずれている。その原因の詳細については文献 17)を参照い

ただきたいが、結論的には材齢補正の影響が大きく影響している。今後は、施工条件の範囲内で、できるだけ強度推定したい材齢（検査の場合、通常 28 日）近くで測定するように計画することが重要である。

5.1.2 水中養生した円柱供試体による強度推定式を用いた場合の強度推定精度¹⁸⁾

超音波法による強度推定は、事前に円柱供試体による音速と強度の関係から強度推定式を求め、構造体コンクリート内部の音速を測定することによって実施している。これまでは、封かん養生した円柱供試体を用いていたが、今回は水中養生したものについて検討した。その理由は、次のとおりである。

- ① 一般の現場において適切に封かん養生が実施されない可能性がある。
- ② 封かん養生すると、水中養生の場合よりも強度、音速は低下するため、構造体コンクリートの音速測定結果（内部一定音速）は、強度推定式の範囲よりも大きくなるケースが多くなり、強度推定を行う場合、外捜とならざるを得ず、推定精度が低下する可能性がある。特に長期材齢での強度推定を行う際、問題となりやすい。
- ③ 強度と音速の関係について、水中養生を行なった供試体で推定式を設定した場合、実構造物のコンクリートの含水状態と大きく異なるので、実強度の適切な推定結果が得られない¹⁹⁾。

水中養生した円柱供試体より強度推定式を求め、封かん養生の場合と同様に強度を推定した結果は**図 5.2**のとおりである。**図 5.2**の横軸は、封かん養生による推定結果である。水中養生による推定結果は、封かん養生のそれよりも数%小さくなっているものの、相関関係は非常に高い。このことから、水中養生した円柱供試体による強度推定式から推定した強度は、その結果を多少割り増し補正することにより、これまでの封かん養生の推定結果と同等の結果を得ることができる。

5.1.3 経年変化

本課題は、検査結果を初期値として維持管理にも適用できる方法についても検討しており、前課題から供用後数 10 年経過した既設構造物の測定も行なってきた²⁰⁾。しかし、当然のことながら新設時の結果はないため、経年変化を確認することはできない。

前課題以前に、新設時に測定した後、供用後に測定

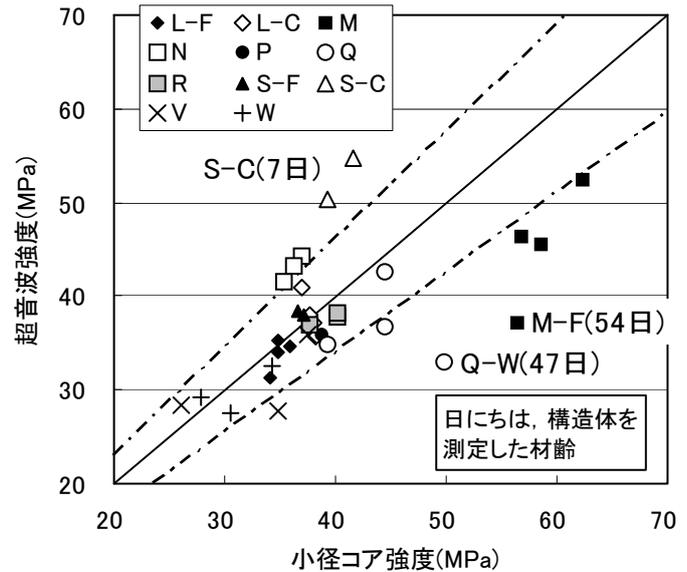


図 5.1 超音波法に強度推定結果と小径コア強度の比較

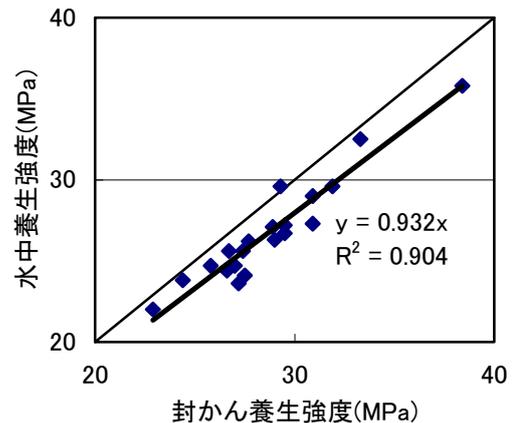


図 5.2 封かん養生と水中養生による推定式から強度推定した結果の比較

する機会を得た構造物 U（**表 2.2** 参照。新設時の結果は文献 5）、経年変化は文献 3）参照）について、6.5 年経過後の測定を行なった。また、前課題で作製した供試体の測定を行なった。

構造物 U のコンクリート内部の音速分布の推定結果、コアによる音速の測定結果は**図 5.3** および **5.4** のとおりであった¹⁹⁾。

図 5.3 は、新設時に測定、コア採取した位置で、今回（6.5 年供用後）も測定した結果を併記している。新設時の音速分布の推定結果（破線）とコアの音速の結果（プロット）、今回測定して求めた音速分布の推定結果（実線）を示す。新設時のコアの音速結果は、通常の場合と異なり、表面近くの音速が速くなっているが、内部の音速はほぼ推定できている。新設時の内部一定

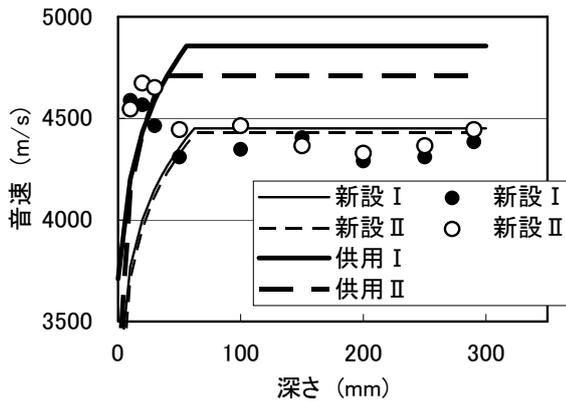


図 5.3 音速分布の比較 (新設時との比較)

音速は 4500m/s 近くであるが、6.5 年供用後は 4700～4800m/s 程度と推定している。

図 5.4 は、新設時に測定、コアを採取した近くで、今回新たにコアを採取した位置の音速分布の推定結果とコアの音速の比較である。図 5.3 のコアの音速結果と比較すると、表層の音速はほぼ同じであるが、内部の音速は速くなっており、表層の品質はほとんど変化していないが、内部では水和反応が進み品質が向上しているものと推定される。音速分布の推定結果も、コアの音速にほぼ一致しており、品質の向上を推定できている。

新設時に求めた強度推定式によって強度を推定すると、コア強度 70MPa 程度に対し、推定結果は 100MPa にも達した。これは、推定式の範囲が内部一定音速よりも小さかったため、外捜したことによる。維持管理にも用いるためには、推定するために必要な十分な範囲の推定式が必要であることを示している。

音速分布によって表層の品質を評価できるかどうかを確認するため、吸水率と音速の関係を図 5.5 に示す。これまでと同様に吸水率の大きい表面近くの音速は遅く、内部ほど吸水率は小さくなり音速は速くなる傾向があり、表層の緻密性を評価できるようである。

供試体製作後 3～8 年経過後に音速を測定し、強度推定した結果は図 5.6 のとおりである。図の凡例に、「短測線」と「外捜」とある。

外捜は、構造物 U の場合と同様、推定式の範囲よりも供試体の音速が速かったために外捜した結果であり、強度を高く推定する傾向がある。これらは、水セメント比が小さく品質の良いコンクリートの場合である。

短測線は、通常、表面走査法により 1m までの伝搬時間を測定して内部の音速分布を推定するが、表面に微細なひび割れを生じており、1m まで超音波が達しなかった場合である。このため、ここでは安定して測

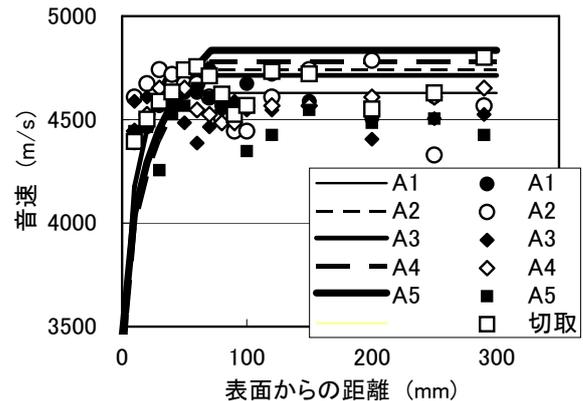


図 5.4 音速分布の比較

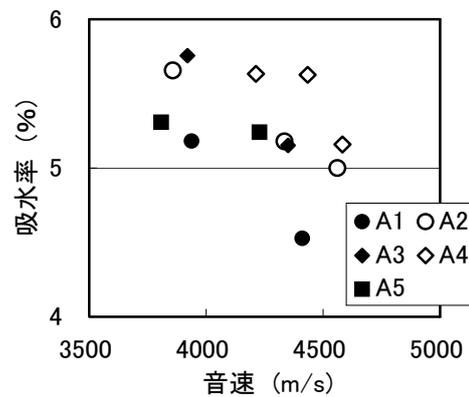


図 5.5 吸水率と音速の関係

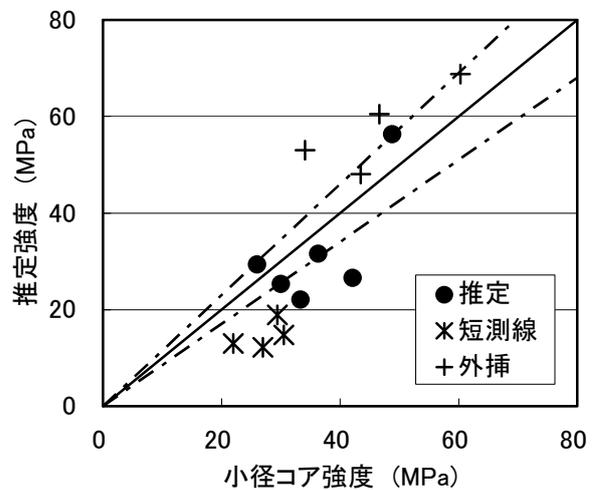


図 5.6 強度推定結果

定できた 700mm 前後までのデータを用いて強度を推定した結果であり、この場合、強度推定結果は小さくなる傾向が求められた。これは、水セメント比が大きい場合であり、これまでも既設構造物の測定においてあったことであり (文献 20)、表層が劣化している場合、超音波は振動エネルギーが小さいため、測定が困難になるようである。

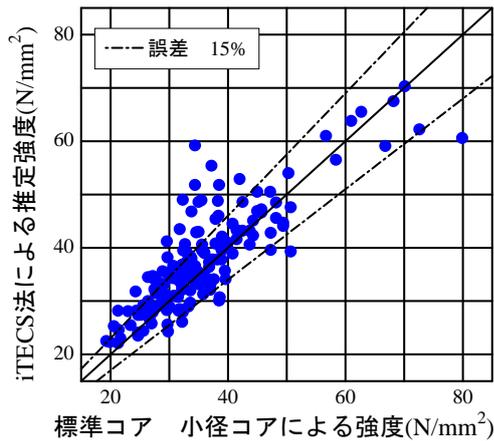


図 5.7 iTECS 法による強度推定結果

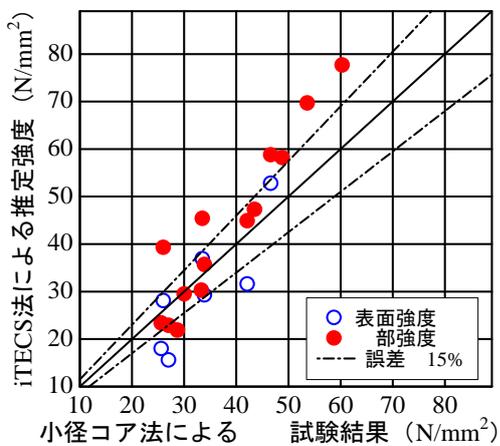


図 5.8 経年変化を た供試体の強度推定

5.2 iTECS 法

5.2.1 強度推定精度²¹⁾

iTECS法によって強度推定した結果は図5.7のとおりである。一部に大きく推定した結果もあるが、多くは±15%で推定できている。

5.2.2 経年変化²¹⁾

数年経過した供試体の強度推定結果は図5.8のとおりである。図には表面強度と内部強度がある。これは、表面の伝搬時間を測定すると、新設の場合は図5.9のように原点を通る直線になり、ほぼ均質であると測定される。ところが、時間が経過するとコンクリートの品質が変化(あるいは劣化)するため、図5.10のように距離が近い場合と、遠い場合では傾き、つまり速度が異なる。そのため推定強度も異なっている。

比較している小径コア強度は、今回、表面と内部に分けているわけではないが、これまでの実験

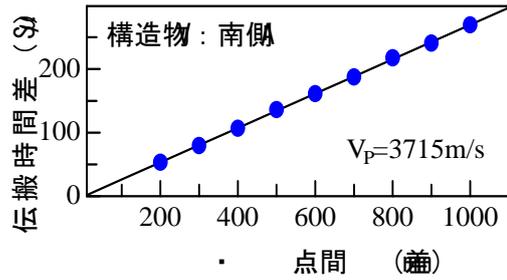


図 5.9 新設時の と伝搬時間

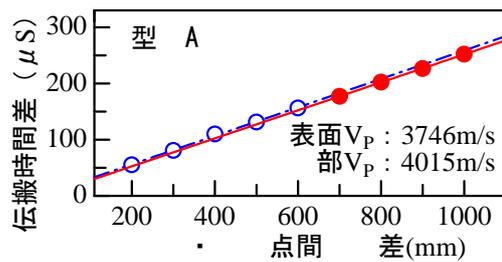


図 5.10 経年変化を た供試体の と伝搬時間の関係

結果から表層は内部よりもわずかに小さくなる傾向があり、それが測定されている可能性があり、点検にも使える可能性がある。

5.3 表面 2 点法

表面 2 点法による強度推定結果は、図 5.11 のようにほとんど±15%以内に入っており、かなり精度良く強度を推定できている。

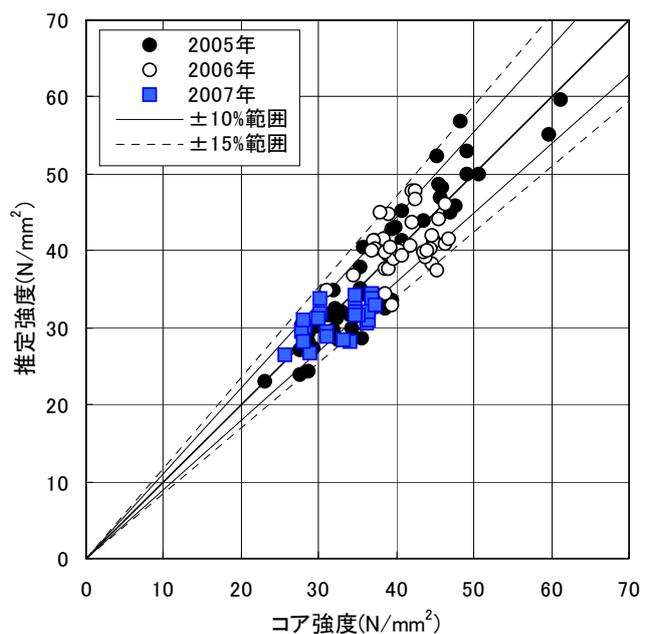


図 5.11 表面 2 点法による強度推定結果

5.4 非破壊試験による強度推定のおまけ

3種類の非破壊試験による強度推定結果をまとめると、次のとおりである。

- ① 強度推定精度は、ほぼ±15%であった。
- ② 経年変化は、まだ数年しかたっていないが、品質の変化を推定できていた。

による強度推定

6.1 機械インピーダンス法

機械インピーダンス法は、ハンマー打撃によりコンクリートのバネ係数を測定し、バネ係数と比例関係にある圧縮強度を推定する方法である。ハンマーでコンクリートを打撃すると図6.1のような加速度波形が得られる。前半はコンクリートを押し込んでおり、後半はコンクリートの反発により押し戻される。後半の加速度からバネ係数を求める。バネ係数 K は圧縮強度 f_c と比例関係にあれば、圧縮強度が推定できるとされている。

水中養生、封かん養生した円柱供試体を載荷して固

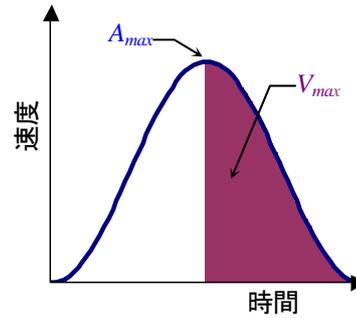


図 6.1 インピーダンス法による速度測定

定した場合と、載荷しない場合で打撃してバネ係数を求め、そのあと強度試験して、両者の関係を求めると図6.2のようになった。封かん養生したものを固定してバネ係数を求めた場合の相関関係が一番高い。

これらの関係を用いて強度推定を行なった結果が図6.3である。まだバラツキは大きいものの、封かん養生したものを固定して求めたバネ係数と強度の関係を用いた場合の強度推定結果が、もっとも良い結果であった²²⁾。

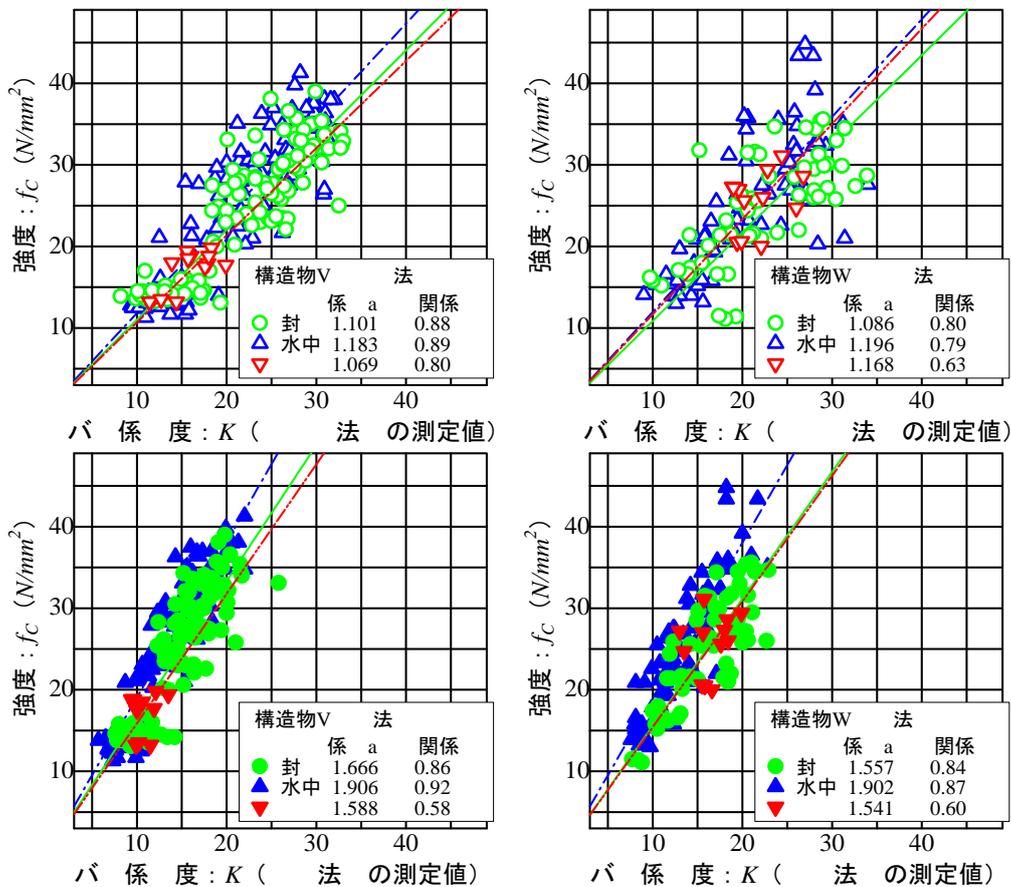


図 6.2 バ係度と強度の関係

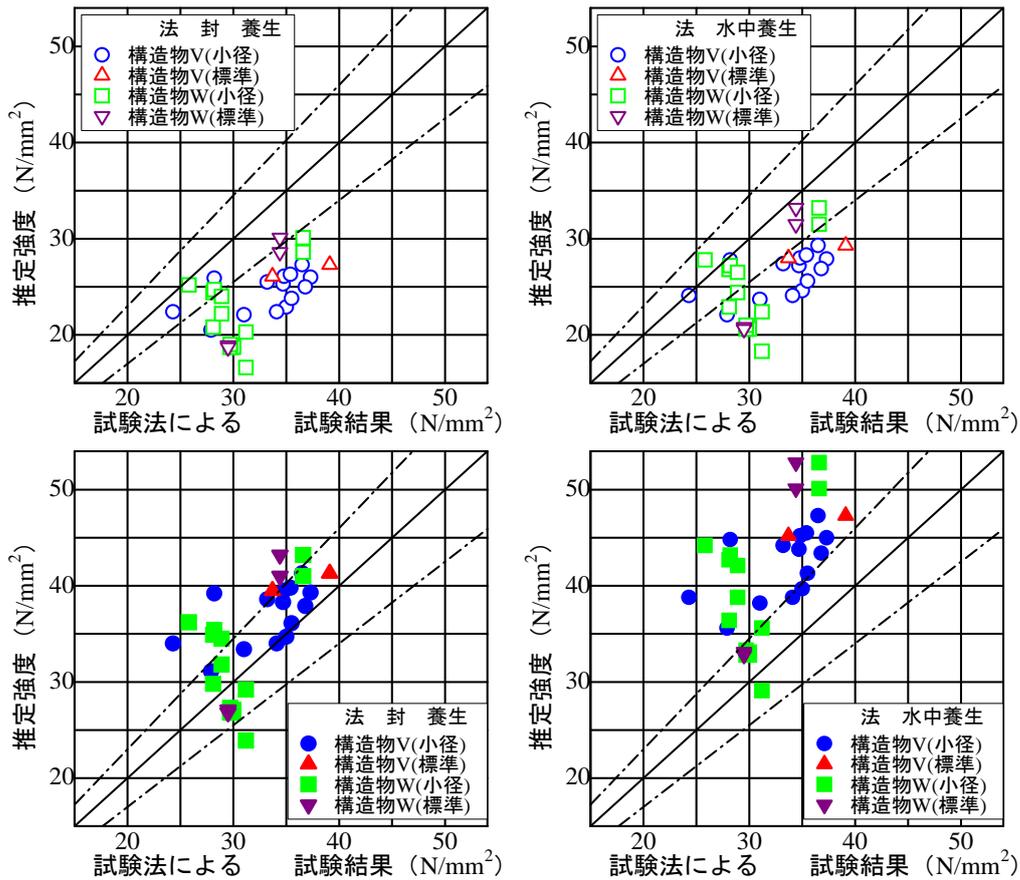


図 6.3 機械インピーダンス法による強度推定結果

6.2 リバウンドハンマによる強度推定

リバウンドハンマによる強度推定は、古くから研究されているが、研究者によって強度推定式が異なり、バラツキが大きい。

リバウンドハンマによる反発度は、含水状態の影響が大きいことが知られていることから、各構造物に使用されているコンクリートについて、円柱供試体を作製し、水中、封かん、気乾養生し、反発度と強度の関係を求めた。その関係を用いて強度推定し、通常よく用いられている材料学会式による推定結果と比較した²³⁾。

含水率ごとに強度と反発度の関係を示すと図 6.4～6.6 のようになり、気乾および封かん養生の相関関係は高く、水中養生はそれらよりも小さい。図中には、材料学会式も示しているとおり、低強度の場合は実験結果に近似しているが、強度が高くなるに従い離れている。

気乾養生の場合について、材料学会式のほか、文献 24)、25)の式も示している。文献 24)の式は、反発度 30 以上、強度 30MPa 以上のときほぼ近似している。文献 25)の式は、低強度から高強度域までほぼ近似している。

構造体コンクリートの強度を材料学会式によって推定した結果を図 6.7 に示す。含水状態の補正、材齢補正は、文献 26)によった。強度推定結果は、土木学会コンクリート標準示方書でも指摘されているとおり、±50%もの範囲でばらついている。しかも、強度の高いものを小さく推定する傾向がある。図 6.4～6.6 の円柱供試体による反発度と強度の関係から、材料学会式を用いれば小さく推定されることになる。

図 6.8 には、図 6.4～6.6 で求めた回帰式による強度推定結果を示す。含水状態の違いについては、それぞれの回帰式を用いている。材料学会式のような偏りはなく、等値線を中心に分布している。ばらつきも材料学会式よりは改善されているが、それでも±30%程度もある。

6.3 による強度推定のまとめ

コンクリート表面は、さまざまな影響を直接受けて品質も変化する。その表面を打撃することによって強度を推定することは、非常に難しい。

機械インピーダンス法とリバウンドハンマ法を比較すると、前者は加速度を測定し、それからバネ係数度

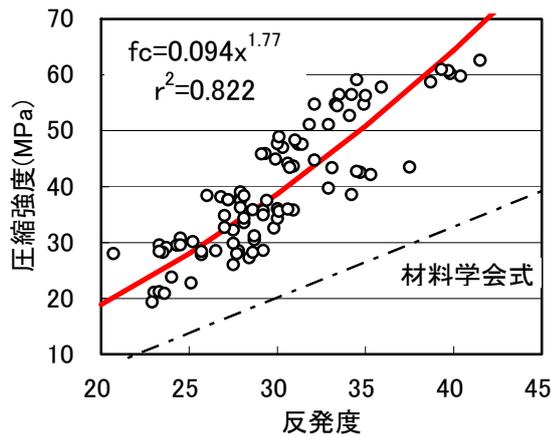


図 6.4 強度と 度の関係 (水中養生)

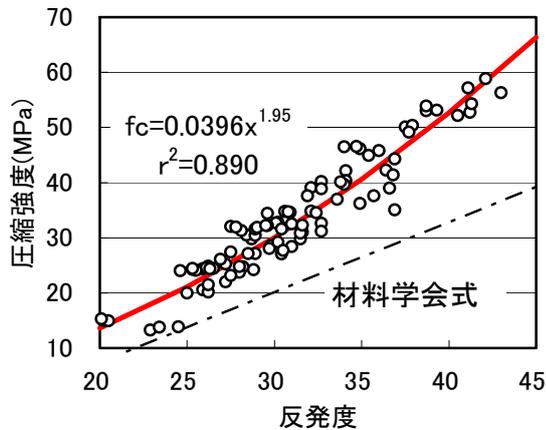


図 6.5 強度と 度の関係 (封かん養生)

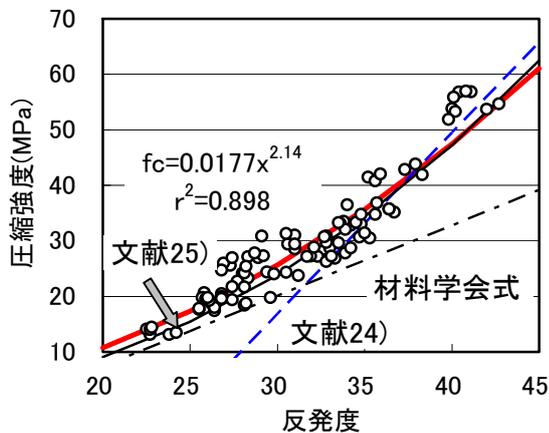


図 6.6 強度と 度の関係 (養生)

を求めている。非破壊試験(超音波、衝撃弾性波)は、弾性波速度を用いているが、実際に求めているのは弾性係数であり、強度と弾性係数には高い相関関係があることはよく知られている。機械インピーダンス法は、バネ係数度を用いていること、研究が始まったばかりであり、今後も検討が必要である。

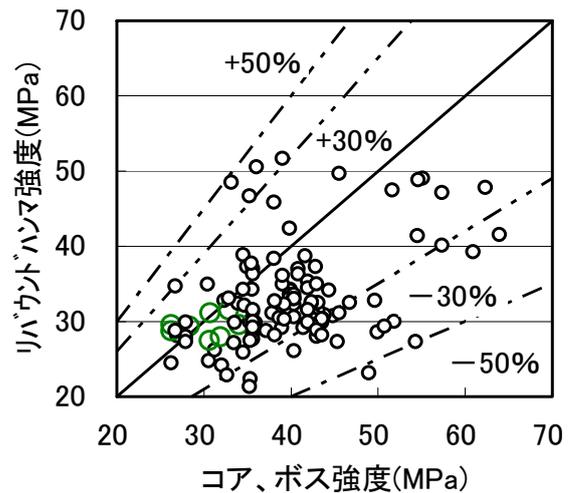


図 6.7 材 式による強度推定結果

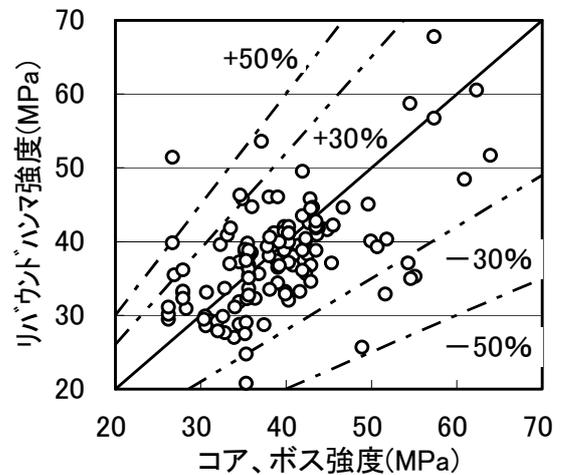


図 6.8 式による強度推定結果

検査のための試験方法、検査マニュアルのこれまでの結果をもとに、検査のための各種試験方法、検査マニュアルをとりまとめた。とりまとめた報告書の目次を表 7.1~7.4 に示す。表 7.1 は小径コア、表 7.2 はボス供試体、表 7.3 は非破壊による各種試験方法、表 7.4 は非破壊によるかぶり試験である。いずれも、試験方法と検査方法マニュアルで構成されている。

試験方法には、新設建造物の検査に使用する試験方法だけでなく、点検に関する試験方法も含まれている。表 7.2 のボス供試体には点検マニュアルも含まれている。表 7.3 の非破壊にも点検に関するものも含まれているが、新設時から定期的に測定することから、検査に含めている。

表 7.1 小径コアによる試験、検査
(研究 (8) 367)

第XIX部 小径コア法による構造体コンクリートの品質・性能確認試験方法 (案)
1章 概要
2章 小径コアによる圧縮強度試験方法 (付録) 小径コア専用小型試験機を用いた現場での圧縮強度試験方法の検討
3章 小径コアによる中性化抵抗性の評価試験方法
4章 小径コアによる中性化深さの測定方法
5章 小径コアによる全塩化物イオン量の測定方法 (付録) 小径コアによる全塩化物イオン量の測定方法の適用事例
第XX部 小径コア法による構造体コンクリートの強度検査方法マニュアル (案)
1章 概要
2章 小径コア法による構造体コンクリートの強度検査方法マニュアル (案)

表 7.2 ボス供試体による試験、検査
(研究 (11) 379)

第XXIV部 ボス供試体による構造体コンクリートの品質・性能確認試験方法 (案)
1章 概要
2章 ボス供試体による圧縮強度試験方法 (付録) ボス供試体による強度、中性化、全塩化物イオン量の測定方法の適用事例
3章 ボス供試体による中性化抵抗性の評価試験方法
4章 ボス供試体による中性化深さの測定方法
5章 ボス供試体による塩分浸透深さおよび全塩化物イオン量の測定方法
第XXV部 ボス供試体による構造体コンクリートの強度検査方法マニュアル (案)
1章 概要
2章 ボス供試体による構造体コンクリートの強度検査方法マニュアル (案)
第XXVI部 ボス供試体による構造体コンクリートの点検マニュアル (案)
1章 概要
2章 ボス供試体による構造体コンクリートの点検マニュアル (案)

表 7.3 非破壊による試験、検査
(研究 (12) 380)

第XXVII部 非破壊試験による構造体コンクリートの品質・性能確認試験方法 (案)
1章 概要
2章 強度推定 2.1 超音波 2.2 衝撃弾性波 (iTECS 法) 2.3 衝撃弾性波 (表面 2 点法) 2.4 超小径コア (附属資料) 超小径コア用携帯型強度試験機による圧縮強度試験方法の検討
2.5 機械インピーダンス法
3章 耐久性 (緻密性) 3.1 超音波 3.2 衝撃弾性波 (iTECS 法)
4章 施工不良 (ひび割れ深さ、コールドジョイント、内部不良) 4.1 超音波 4.2 衝撃弾性波 (iTECS 法) 4.3 レーダ
5章 部材厚さ 5.1 超音波 5.2 衝撃弾性波 (iTECS 法) 5.3 レーダ
6章 経時変化 (維持管理 (劣化、損傷 (はくりなど) への適用) 6.1 超音波 6.2 衝撃弾性波 (iTECS 法)
第XXVIII部 非破壊試験による構造体コンクリートの強度・部材厚さ・変状検査方法マニュアル (案)
1章 概要
2章 強度
3章 部材厚さ、変状範囲
4章 ひび割れ深さ

表 7.4 非破壊によるかぶり試験、検査
(研究 (13) 381)

第XXIX部 非破壊試験による配筋・かぶり厚さ試験方法 (案)
1章 概要
2章 電磁波レーダ法
3章 電磁誘導法 (参考資料) パルス電磁力音響法
第XXX部 非破壊試験による配筋・かぶり厚さ検査方法マニュアル (案)
1章 概要
2章 配筋・かぶり厚さ

にお る 試 および

「はじめに」でもふれたとおり、前課題の成果をもとに国土交通省では非破壊・微破壊試験による管理・検査の試行が実施されている。

8.1 配筋状態・かぶり、強度の試

配筋状態・かぶりに関して「非破壊試験を用いたコンクリート構造物の品質管理手法の試行について」が平成 17 年 5 月 18 日に通知された。実施に当たり「非破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態及びかぶり測定要領（案）（以下、「かぶり要領案」という）」を定めた。

強度に関しては「微破壊・非破壊試験を用いたコンクリートの強度測定の試行について」が平成 18 年 9 月 25 日に通知された。実施に当たり「微破壊・非破壊試験によるコンクリート構造物の強度測定試行要領（案）（以下、「強度要領案」という）」を定めた。かぶり要領案および強度要領案を補完するために「非

破壊試験によるコンクリート構造物中の配筋状態およびかぶり測定方法（以下、「かぶり測定要領」という）」、「微破壊・非破壊試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領（以下、「強度測定要領」という）」を作成し、土木研究所のホームページに掲載している（表 8.1 および 8.2）。

本課題によって実構造物の測定を行い、毎年かぶり・強度要領案および測定要領の修正を行なっている。

8.2 の による の 、 の 養

両通知には、測定者の要件として、各試験について十分な知識を有していることが条件になっており、配筋・かぶりに関しては参考に(社)非破壊検査工業会の講習会が開催されていること、強度については表 8.3 のように各機関で開催されている講習会を受講し、その「証明書」を有していることが必要である。そのため、土木研究所において講習会を開催するとともに、各機関で開催されている講習会の支援を行なっている。

表 8.1 かぶり測定要 の項目

方法	H17、18 年度	H19 年度	掲載理由
電 磁 波 レ ー ダ 法	電磁波レーダ法による比誘電率分布（鉄筋径を用いる方法）およびかぶりの求め方（pdf）	電磁波レーダ法による比誘電率分布（鉄筋径を用いる方法）およびかぶりの求め方（修正）（pdf）	測定結果から、交差している鉄筋が緊結されていないと考えられる場合の取扱いを追記
	○解析プログラム（EXCEL）	○解析プログラム（EXCEL）	H17、18 年度と同じ
		●解析プログラム（EXCEL）（係数、ノンプロテクト）	・上記のプロテクトがかかかっていないもの ・報告書への張り付け容易 ・係数表示⇒かぶり補正の比誘電率分布が求められる
		電磁波レーダ法による鉄筋の位置とかぶり測定が困難な場合の対処方法	鉄筋位置、かぶりの解析が難しい場合の解析手順
		レーダ法におけるシート測定方法	現場での簡易な測定
電磁誘導法		電磁誘導法による近接鉄筋の影響の補正方法 ●計算プログラム	近接鉄筋の影響の補正

表 8.2 微破壊・非破壊試験による強度測定要 の項目

試 験 法	
微破壊	ボス供試体による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）
	小径コア試験による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）
非破壊	超音波試験（土研法）による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案） ・超音波法による強度推定ワークシート ・超音波法による強度推定ワークシートの使用方法について
	衝撃弾性波試験 iTECS 法による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）
	衝撃弾性波試験 表面 2 点法による新設の構造体コンクリート強度測定要領（案）

表 8.2 の 状

講習内容	講習会	開催機関	H17年		H18年		H19年		
			回数	人数*	回数	人数*	回数	人数*	
実技講習	かぶり	レーダ、電磁誘導	非破壊検査工業会	4回	60	6回	60	6回	60~80
	強度 (非破壊)	表面2点法	土木研究所			6回	15	6回	15
		超音波	土木研究所			5回	15	6回	15
		iTECS	iTECS技術協会			3回	25	5回	25
	強度 (微破壊)	小径コア	ソフトウェア協会			2回	25	1回	25
ボス供試体		非破壊検査協会			3回	20	4回	20	
地整講習会	上記方法の紹介	上記機関			全地整	100			

*:人数は、1回当たりのおおよその人数

まとめ (の)

実験結果については 3~6 章にまとめている。これらの成果をもとに、検査マニュアルと、検査のための試験方法については、その概要を 7 章に記述した。国土交通省で非破壊・微破壊試験によるかぶり、強度測定の試行が行われており、測定要領を作成し、毎年修正していること、測定技術者の養成のため講習会を開催していることについては 8 章に記述しているので、ここでは今後の課題についてまとめる。

本課題の目的は、新設構造物の検査方法を確立することである。また、この検査結果を初期値として、供用中に継続して測定することにより適切な維持管理ができる点検方法を確立することである。そのために、新設構造物だけでなく、数 10 年供用中の構造物の測定も行なった。1 構造物および前課題で製作した供試体については、新設時に測定し、数年後にも測定した。

その結果、測定した時点での品質を評価できることは明らかになった。今後は、新設時から継続して測定し、その結果を維持管理にどのように利用するか検討が重要と考えられる。

また、コンクリートの耐久性確保には、コンクリート表層の品質が重要であり、その品質を試験する方法についても提案したが、その結果が数 10 年後の劣化を予測することに適用可能なのか、などの検討が必要である。

最後に、本研究に関連する研究発表、規格化などの状況を表 10.1~10.4 に簡単にまとめておく。

【謝辞】

実構造物の実験を行うにあたり、関東地方整備局、事務所の担当者の方々にご協力いただきました。関係者各位に深く感謝いたします。

表 10.1 研究

整理番号	主な項目
355	2005年度現場実験
367	小径コア法 試験方法、強度検査マニュアル(表7.1参照)
373	2006年度現場実験
378	供試体の経時変化測定 2007年度現場実験
379	ボス供試体 試験方法、強度検査・点検マニュアル (表7.2参照)
380	非破壊試験 試験方法、強度・部材厚さ・変状検査マニュアル (表7.3参照)
381	非破壊試験 配筋・かぶり厚さ試験方法、検査マニュアル (表7.4参照)

表 10.2 対 表

	H17年	H18年	H19年
非破壊検査協会 春季・秋季大会	14	7	8
土木学会年次大会	4	5	2
建築学会年次大会	4	0	0
コンクリート工学協会 年次大会	4	3	1
その他	7	16	15
合 計	33	31	26

表 10.3 (非破壊検査 N S) の

規格番号	名 称
NDIS 3424	ボス供試体の作製方法および圧縮強度試験方法 (05年11月制定)
NDIS 2426	弾性波によるコンクリートの試験方法(作成中)
NDIS 2426-1	第1部 超音波
NDIS 2426-2	第2部 衝撃弾性波
NDIS 2426-3	第3部 打音
NDIS	レーダ、電磁誘導によるかぶり厚さ(準備中)

表 10.4 上 ら た 、 ス コ

内容	報道機関
研究成果	日経コンストラクション
	日刊建設工業、建設産業、建設通信、橋梁、電気新聞
試行・講習会	NHKニュース 地方も含め業界紙誌
展示会	テレビ東京
	検査機器ニュース

- 1) 土木研究所成果報告書（平成 16 年度）
- 2) 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(7)、第 355 号、2006.12
- 3) 前掲書 2)、(9)、第 373 号、2007.8
- 4) 前掲書 2)、(10)、第 378 号、2008.3
- 5) 非破壊試験によるコンクリート品質、厚さ、鉄筋かぶり・計の計測に関する共同研究報告書、第 268 号、2001.3
- 6) 前掲書 2)、(1)、第 299 号、2004.3
- 7) 前掲書 2)、(3)、第 309 号、2005.1
- 8) 前掲書 2)、(4)、第 314 号、2005.3
- 9) 飯田洋志ほか：微破壊・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 7 かぶり厚さの測定精度、非破壊検査協会平成 20 年春季大会講演概要集、2008.5（投稿中）
- 10) 森濱和正ほか：前掲書 9) 電磁波レーダ法 その 5 かぶり厚さが小さい場合の測定精度、非破壊検査協会平成 18 年秋季大会講演概要集、pp.137-140, 2006.10
- 11) 森濱和正ほか：前掲書 9) 電磁波レーダ法 その 6 かぶり厚さ測定手順、非破壊検査協会平成 19 年春季大会講演概要集、pp.49-52, 2007.5
- 12) 久富真悟ほか：前掲書 9) 電磁誘導法 その 2 かぶり厚さの推定精度、非破壊検査協会平成 20 年春季大会講演概要集、2008.5（投稿中）
- 13) 森濱和正ほか：前掲書 9) 電磁波レーダ法 その 1 かぶり厚さの近接鉄筋の影響を補正する方法の検討、非破壊検査協会平成 19 年秋季大会講演概要集、pp.155-158, 2007.10
- 14) 森濱和正ほか：超小径コアの現場での強度試験方法の検討、土木学会第 61 回年次学術講演会第 V 部、pp.1099-1100, 2006.9
- 15) 野永健二ほか：小径コア用小型圧縮強度試験装置による強度検査への適用性に関する一考察、土木学会第 61 回年次学術講演会第 V 部、pp.1103-1104, 2006.9
- 16) 相原康平ほか：ボス供試体のコンクリート構造物への適用－粗骨材最大寸法 40mm のコンクリートへの検討－、土木学会第 63 回年次学術講演会第 V 部、2008.9（投稿中）
- 17) 森濱和正：超音波法（土研法）による構造体コンクリート強度の推定精度、コンクリート工学年次論文集、Vol.30, 2008.7（投稿中）
- 18) 森濱和正：前掲書 9)、超音波法 その 14 07 年度に実施した実構造物の音速分布による強度・緻密性の評価および含水状態と音速の関係、非破壊検査協会平成 20 年春季大会講演概要集、2008.5（投稿中）
- 19) 森濱和正：前掲書 9)、超音波法 その 13 06 年度に実施した実構造物の音速分布による強度・緻密性の評価、(社)日本非破壊検査協会平成 19 年度秋季講演概要集、pp.123-126, 2007.10
- 20) 森濱和正：非破壊試験による 30 数年経過した RC 構造物の配筋状態・かぶり厚さ、コンクリート品質の評価、日本コンクリート工学協会・歴史的構造物の診断・修復に関するシンポジウム論文報告集、pp.75-82, 2006.6
- 21) 岩野聡史ほか：前掲書 9)、衝撃弾性波法 その 11 衝撃弾性波法 (iTECS 法) によるコンクリート構造物の音速分布による強度・緻密性の評価、(社)日本非破壊検査協会平成 20 年度春季講演概要集、2008.5（投稿中）
- 22) 実藤ほか：前掲書 9)、機械インピーダンス その 2 機械インピーダンス法による圧縮強度推定及び表面剥離検査に関する検討、(社)日本非破壊検査協会平成 20 年度春秋季講演概要集、2008.5（投稿中）
- 23) 森濱和正：リバウンドハンマーによる強度推定に関する検討、土木学会第 62 回年次学術講演会第 V 部、pp.45-46, 2007.9
- 24) (独)土木研究所・日本構造物診断技術協会：非破壊試験を用いた土木コンクリート構造物の健全度診断マニュアル、技報堂出版、pp.182-188, 2003.9
- 25) 谷口秀明ほか：テストハンマーによるコンクリートの硬度測定および強度推定の誤差要因に関する検討、土木学会論文集、No.767/V-64, pp.199-210, 2004.8
- 26) 国土交通省・(独)土木研究所：テストハンマーによる強度推定調査の 6 つのポイント、2001.12

Study on Inspection / Quality Control Method of Concrete Structures Using Semi-destructive and Non-destructive Tests

Purpose of this research is to propose inspection and quality control methods of concrete structures using semi-destructive tests (SDT) and non-destructive tests (NDT).

The SDT and NDT methods dealt in this research project are estimation of compressive strength of concrete in structures by small size core(SC), super small size core, BOSS(Broken Off Specimens by Splitting) specimen, ultrasonic wave(UW), impact elastic wave(IEW), mechanical impedance, and rebound hammer, cover of reinforcing bar by electro magnetic wave(EW), electro magnetic induction(EI) and pulsed electro magnetic force acoustic method.

For 3 years, experiments of SDT and NDT are carried out using 11 structures.

Results of experimental study are as follows;

- (1) Precision of cover depth measurement of reinforcing bar by electro magnetic wave were less than 200mm and within 15% of actual cover depth, and electro magnetic induction were less than 100mm and within 15%.
- (2) Measurement precision of compressive strength of concrete in structures by SC, BOSS, UW and IEW were within 15% of ϕ 100mm core.
- (3) Trial manuals for measurement of cover depth of reinforcing bar and compressive strength of concrete in structures executed by MLIT(Ministry of Land, Infrastructure, Transport and Tourism) were modified according to the results of (1) and (2).
- (4) Method of estimating for cover depth of reinforcing bar and compressive strength of concrete in structures using SDT and NDT were and developed into testing methods and inspection manuals.