

## [7] モデル構造物の非破壊試験

正会員 ○ 野崎 喜嗣 (武蔵工業大学工学部)

正会員 十代田 知三 (芝浦工業大学工学部)

### 1. はじめに

構造体中コンクリートの、強度を主とした品質推定の為の非破壊試験方法の検討について、既に多くの研究実績が見られるが、実際の構造物に適用する場合に遭遇する諸問題については必ずしも明確でない場合が少なくない。こういった背景から、昨年度、実施構造物モデルとしての壁状試験体を作成し、その品質特性の調査・分析及び非破壊試験に関する実験的研究を行った。<sup>\*1,2,3</sup> その中で、主たる非破壊特性値として対象とした、コンクリート中の超音波伝搬速度は、材料条件、調査条件の影響が見られたが、シュミット法は超音波法に比してややバラツキが大きかった。

本報告は同様の主旨による第Ⅱシリーズの実験結果から、特に造殻混練コンクリート等をも含めた新しい材料・工法によって打設・作成したモデル構造物に対して、非破壊試験を主とした品質評価の試み及び強度推定の精度についての検討を行なったものである。

なお、本報告は昭和56年度文部省科学研究費助成による「コンクリート構造物の品質評価のための基礎研究」の実験の1部によるものであり、ミクロな視点からの品質評価及び全体的な研究の成果は別に報告したい。

### 2. 実験の概要

2.1 試験壁体 構造物モデルとして、第1シリーズの実験に準じて図-1に示すRC壁体を6種類の材料、混練法の条件で各1基、計6基を作成した。打設は、昭和56年10月下旬に埼玉県大宮市の屋外で、合板型枠中にポンプを用いてその中央部から打ち込んだ。締め固めは全体を4層に分け、各層につき中央部、両端の4ヶ所を各々2台の棒状バイブレータを用いて40秒間行なった。流動化剤はプラント出荷後約25分にミキサー車に投入し、1分間高速攪拌により再混練を行なった。壁体は打設後シート架け、1週間散水養生(1回/日)し、材令2週で型枠を取り外した。材令4週に非破壊試験(シュミット反発硬度及び超音波伝搬速度の測定)を行ない、その後予め埋め込んだD19mm異形鉄筋の引抜試験を行なった。コア供試体は材令30~32日に各壁体の厚さ方向に $\phi 150 \times 300$ 円柱体を20本、高さ方向に $\phi 100 \times 2400$ 円柱体を2本採取して室内空中養生し、前者は材令6週に強度試験を、後者は吸水率の測定、断面観察、粗骨材率の測定等の目的に用いた。

2.2 試験項目 表-1、図-1に示す。

2.3 使用材料及び調査 表-2に示す。特にブリージングの影響を見るため、粗骨材の最大寸法は昨年度の20mmに対して40mm砕石とし、又工法条件として造殻混練コンクリートも対象とした。

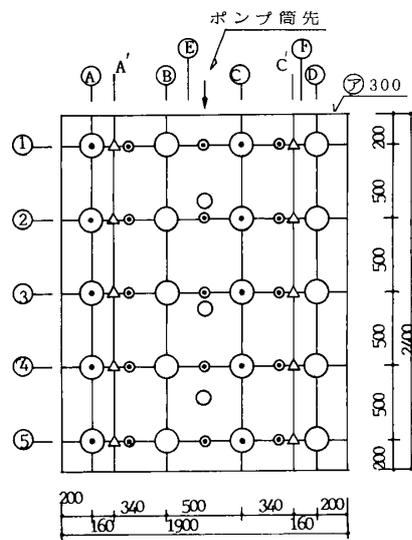


図-1 モデル壁体、測定位置

表-1 測定項目

記号	測定項目
○	コア $\phi 150 \times 300$ A, C列 圧縮強度
—	コア $\phi 100 \times 2400$ E, F列 吸水率, 骨材率
•	超音波伝搬速度測定
△	シュミット反発硬度測定
◻	埋込異形鉄筋の引抜強度測定
○	圧密力(測圧)測定

表-2 使用材料及び調合

略号	種類	W/C	S/a	重量調合 kg/m <sup>3</sup>						備考
				W	C	S	G	AE剤	流動	
N	普通軟練	623	451	188	302	807	981	107	CC	目標スランブ 18cm 流動化は 12cm → 18cm 空気量 3.5%
B	ベース	605	455	169	279	831	1,035	100	---	
BS	造殻	606	453	172	294	779	1,035	100	---	
BF	流動化	591	457	164	280	845	1,006	100	1,045	
BSF	造殻流動	619	451	173	282	828	1,006	100	1,435	
N'	普通参考	586	429	172	294	779	1,035	105	---	

セメント：普通ポルトランドセメント  
 細骨材：大井川産川砂、粗骨材：葛生産混合砕石 40mm (4005)  
 混和剤：AE剤、流動化剤-ナフタリン系高流動化剤

表-3 フレッシュコンクリート

略号	スランブ	空気量	JIS BL※
N	18.0 cm	4.1 %	3.448%
B	10.0	5.4	3.869
BS	7.5	3.6	1.075
BF	10.5→19.5	4.5→4.8	5.913
BSF	8.5→18.5	3.8→4.5	1.362
N'	17.0	5.0	3.778

※ JIS フリージング率

3. 実験結果および考察

3.1 使用コンクリートの諸性質 壁体打設時に採取した試料によるフレッシュコンクリートの試験結果を表-3に示す。試験練りの際は砕石にかなりの石粉が付着していたが、打設前によく洗浄したために微粉分が不足し、又微砂分も不足気味であったことから全体的にワーカビリティはやや劣っていた。流動化剤の添加によるフリージング量の増大は微粉分の不足により助長され、逆に造殻混練によって抑制される傾向が認められる。

3.2 供試体の試験結果 表-4に示した。強度等の力学的性質は標準水中4週、現位置空中6週とも同様の傾向で、ベースコンクリートは大で、流動化剤の添加によって低下し、造殻混練の場合は向上する。この低下現象はフレッシュコンクリートの項で述べた微粉分の不足によるものと考えられ、造殻混練はこれを改善したと言えよう。

3.3 壁体の測定結果 図-3に示す。同図(a)は壁体中の超音波伝搬速度、(b)はシュミット反発硬度、(c)は鉄筋の引抜強度(自由端0.025mm滑動)、(d)はコアの試験結果である。平均的な傾向は、最上部で傾きが大きく、それより下部では大よそ直線的である。上下差は圧縮・引抜強度ともに大よそ25%、反発硬度は大よそ20%、超音波速度は約5%である。種類別では造殻混練で僅かにその差が小さい傾向も見られるが、殆んど同様の傾向であると言えよう。

3.4 コアの測定結果 コアの強度を図-3(d)に、空隙率(体積吸水率として推定)及び粗骨材率(コア断面に表われた径5mm以上の骨材の面積比をイメージアナライザーによって求めた)を各々図-2(a),(b)に示した。空隙率は上下差が絶対値で5%程度で、バラツキは大きい最上部以下は大よそ直線的に変化しており、強度、音速等の特性と同様の傾向である。他方、粗骨材率は最上部で小さいが、それ以外は殆んど変化がない。

表-4 標準供試体試験結果

種別	養生	圧縮強度 kg/cm <sup>2</sup>	引張強度 kg/cm <sup>2</sup>	比重	動弾性 ×10 <sup>5</sup> kg/cm <sup>2</sup>	音速 km/sec
N	A	213		2.31	3.26	4.48
	W	268	34.6	2.32	3.52	4.62
B	A	233		2.31	3.40	4.61
	W	298	36.4	2.36	3.89	4.76
BS	A	280		2.32	3.51	4.61
	W	320	35.4	2.36	3.78	4.71
BF	A	207		2.34	3.56	4.62
	W	247	32.9	2.33	3.80	4.78
BSF	A	239		2.31	3.40	4.58
	W	298	33.8	2.35	3.69	4.71
N	A	212		2.30	3.36	4.58
	W	259	32.5	2.35	3.70	4.71

A 現場空中養生 (6週)  
 W 標準水中養生 (4週)

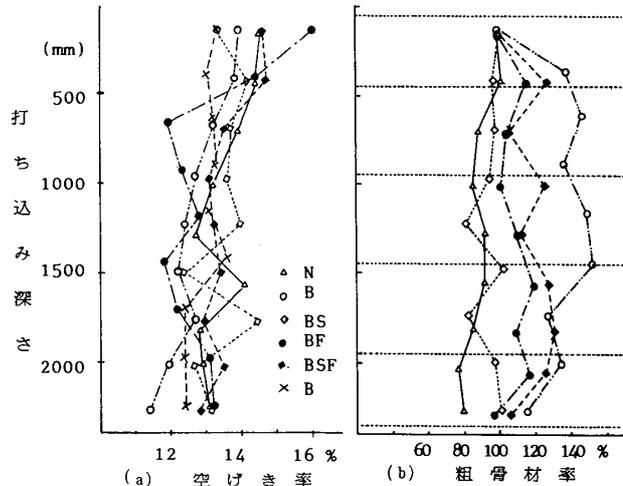


図-2 打ち込みの深さ方向の物理的性質の変化

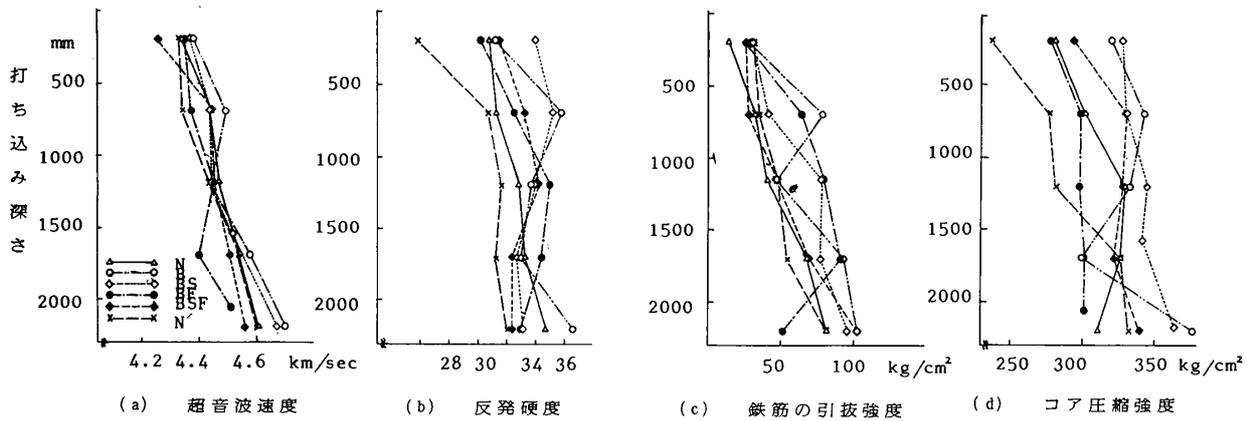


図-3 打ち込みの深さ方向の特性値の変化

その他、特に測定値は示さなかったが、打設時の圧密力は上部では大よそ液圧に近いが、1 m 程度に側圧でいうヘッドが見られた。この圧密力によって打ち込みの上下方向に空隙率、密度等の物理的性質が影響を受け、その結果各種強度や弾性係数等の力学的性質が変化すると考える事もできる。但し、力学的性質の上下方向の変化の傾向は、先に述べたヘッドに相当する影響が明確には見られないので、更に要因としてブリージングを加味して検討する必要がある。

3.5 壁体中のコンクリート強度の推定 図-4はコア強度を目的変数とし、説明変数として (a) 超音波伝搬速度、(b) シュミット反発硬度、(c) 鉄筋の引抜強度とした場合の相関散布図及び回帰分析結果を示している。図から見られる様に各々正の相関を示しているが、いずれも相当にバラツキが大きい。これは実験因子として材料、調合条件が一定であり、内部の非均質性が各特性値に各々異なった影響を及ぼしたためと考えられる。各手法の問題点として、超音波法は測定位置に於ける粗大骨材の混入確率(粗骨材率)による影響が大きく、骨材寸法に対する測定長さ(壁厚)比が充分でなかったとも考えられる。反発硬度は相関係数は昨年度の実験結果と大よそ同程度で、その点では比較的安定した手法と考えられるが、測定時に比較的若材令であったために測定位置の乾燥程度バラツキも少なからぬ影響を及ぼしていると思われる。引抜法は、本実験では異形鉄筋を用いており、その強度はリブに囲まれたコンクリートのkey効果、剪断強度により依存するため、圧縮強度とは必ずしも密接な関係が見られなかったものと思われる。

図-5はコア強度と、標準水中、現位置空中の各供試体強度との相関分析の結果を示している。いずれもコア

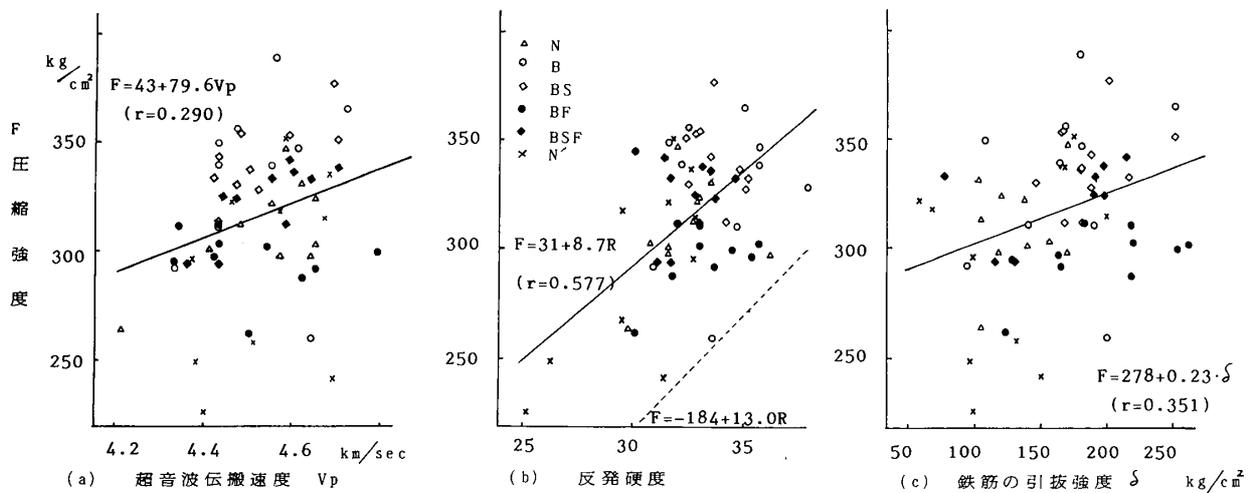


図-4 コア強度と各特性値の相関散布図

強度は供試体強度を上廻り、その差は15~30%である。

水中養生供試体との差は試験時の含水率の差（コアは乾試験）を含めて理解する必要がある。

3.6 複合非破壊試験としての検討 超音波速度，反発硬度，引抜強度を要因とした重相関分析の結果を表5に示す。データ全体では反発硬度法が比較的相関係数は大であるが，他の方法では余り密接な関係は見られない。複合化して，順次要因を増やした場合，重相関係数は若干大きくなるが，最終的に3要因による推定式でも  $r=0.615$  であり，強度推定の精度は充分でない。

種類別に分析を行なった場合（同表下段），ベースコンクリートの場合重相関係数  $r=0.5$  であるが，他はいずれも  $r=0.7\sim 0.8$  となり，一応高度の相関といえる。但し回帰係数（傾き，表中の  $a_1\sim a_3$  の値）は同一要因内でも正・負の値が見られる。これは各種類毎にその散布状態は必ずしも一様でない事を意味しており，今后，汎用的な推定式を検討する上での問題点の1つとして指摘されよう。

4. まとめ

①コンクリートモデル壁体の非破壊試験による品質評価及びその精度について検討した。本実験の範囲ではその有用性は余り見られず，この方法の1つの限界かとも思われる。種類別に分析すると相関係数は増大するが，その傾向は必ずしも一様ではなく，そのために全データの分析に於てはバラツキが大きくなったものと考えられる。シュミット法は昨年度の分析結果と同程度の精度であったが，超音波法，引抜法は大きなバラツキを示した。超音波速度のバラツキは骨材寸法に対して測定長が十分でなかったことに起因するかとも思われるが，さらに検討が必要である。種類間の差は，流動化コンクリート，造殻混練コンクリート等の品質評価を行なう上での1つの手掛りと考え，更に検討を進めている。

②壁体モデル中のコンクリートの品質は，その打ち込みの上下方向に明らかな影響を受ける。その上下差は各種強度（圧縮，引張，鉄筋の引抜），空隙率（容積吸水率）で大きく，超音波伝搬速度はその差が小さい。又，断面に表われた粗骨材面積率では殆んど差が見られなかった。それらの傾向にはコンクリートの種類により，若干の差が見られるが，より詳しい品質評価の為に，もう少しマイクロな視点からのアプローチを含めて，総合的に行なう必要がある。

なお，本研究は芝浦工大，武蔵工大の昭和56年度卒業研究として行なったもので，多くの学生諸君に尽力頂いた。実験の遂行に当っては榎大成建設山本康弘氏，服部高重氏をはじめ，技術研究所ならびに大宮機械工場の方々に多大の協力を頂いた。ここに記して深謝致します。

引用

- \* 1 十代田，野崎，中山（流動化コンクリートの均質性）第3回コンクリート工学年次講演会 1981年
- \* 2 野崎，十代田「コンクリートの非破壊試験に関する研究」日本建築学会関東支部研究報告書 昭和56年度
- \* 3 十代田，野崎，中山「流動化コンクリートの分離性状(Ⅳ)」日本建築学会大会学術講演梗概集 昭和56年

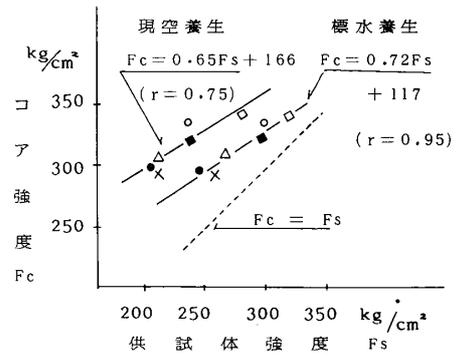


図-5 コアと供試体の強度の関係

表-5 重回帰分析、結果一覧

	a1	a2	a3	C	r
全	8.7	—	—	31	0.573
	—	79.6	—	-43	0.290
	—	—	0.23	278	0.351
	6.0	62.8	—	-160	0.615
デ	6.9	—	4.38	84	0.576
	—	92.7	1.21	-188	0.475
	6.6	36.3	1.65	-65	0.615
N	1.8	67.6	-1.49	-49	0.695
B	6.4	88.8	0.18	-257	0.500
BS	-1.2	123.7	6.61	-162	0.783
BF	1.5	-74.3	1.22	554	0.714
BSF	1.3	110.4	4.18	-220	0.804
N	12.3	74.3	2.33	-390	0.753

$$F = a_1 \cdot R + a_2 \cdot V_p + a_3 \cdot \delta + C$$

F 圧縮強度  $kg/cm^2$  R 反発硬度

$V_p$  超音波速度  $km/sec$

$\delta$  引抜強度  $kg/cm^2$

r 相関係数 C 実験定数