

土 木 研 究 所 資 料

コンクリートの凍結融解試験方法に関する調査(1)

昭和59年 3 月

建設省土木研究所地質化学部コンクリート研究室
建設省技術管理業務連絡会コンクリート部会

Copyright © 1984 by P. W. R. I.

All rights reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, nor translated into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部又は一部の転載、複写は土木研究所長の承認を得ずしてこれを行なってはならない。

序　　言

コンクリートの凍結融解試験は、自然環境下で受ける凍結融解作用に対する抵抗性を急速な凍結融解繰返しによって求めるもので、広く行われている。例えば、土木学会「コンクリート標準示方書」ではこの試験によって規格外の骨材品質の評価を行うことになっており、また、J I S A 6 2 0 4「コンクリート用化学混和剤」でも混和剤の性能評価のために、この試験法を採用している。しかし、この試験の精度については不明確な点が多い。今後、骨材品質の低質化や新材料の開発に伴ってコンクリートの凍結融解試験への依存度も高くなると考えられるので、より精度の高い標準試験法の確立が望まれる。

そこで、建設省技術管理業務連絡会・コンクリート部会では、建設省各技術事務所、土木研究所及び北海道開発局土木試験所で所有する凍結融解試験機について以下に示す試験法の標準化のための調査を行っている。

- 1) コンクリート凍結融解試験の試験所間の変動調査 1)～3)
- 2) コンクリートの動弾性係数測定における測定器間の変動調査
- 3) 各凍結融解試験機の性能調査
- 4) 共通試験条件下における試験所間の変動、再現性の調査

本報告書は、既に調査を終了している 1) と 2) の調査結果をとりまとめたものである。

昭和 5 9 年 3 月

地 質 化 学 部	部 長	蒔 田	実
コンクリート研究室	室 長	小 林	茂 敏
”	研究員	河 田	博 之
”		石 井	良 美

目 次

序 言

1. 凍結融解試験の試験所間の変動調査	1
1.1 調 査 目 的	1
1.2 調 査 方 法	1
1.3 調 査 結 果	3
1.4 考 察	38
2. 動弾性係数測定器間の変動調査	42
2.1 調 査 目 的	42
2.2 調 査 方 法	42
2.3 調査結果及び考察	43
3. ま と め	56
結 言	57
参 考 文 献	58

1. 凍結融解試験の試験所間の変動調査

1.1 調査目的

骨材の耐久性を検討する際、一般にコンクリートの凍結融解試験が多く用いられているが、各所で行われている凍結融解試験結果を適正に評価するためには、試験装置の型式や運用方法（試験条件）による結果の違いをあらかじめ把握しておく必要がある。よって、ここではそのための資料を得ることを目的として、凍結融解試験の試験所間の変動を調査した。

1.2 調査方法

調査は、昭和51年度～53年度に行い、各年度とも同一バッチの供試体による同時共通試験とした。すなわち、表-1.1に示すように特定の試験所で同一バッチから供試体を製作し、それを各試験所に送付して同一材令で試験を開始した。

1.2.1 使用材料

コンクリートに用いた材料は、つぎのとおりである。

(1) セメント：普通ポルトランドセメントを用いた。

(2) 粗骨材：北陸、中国では52、53年度とも同じ粗骨材を、土研では51～53年度とも同じ粗骨材を用いた。

(3) 細骨材：土研では51～53年度とも同じ細骨材を用いたが、その他は各年度によって幾分異なった。

(4) 混和剤：AE剤（グィンソル）を用いた。

1.2.2 コンクリートの配合

(1) 水セメント比（ W/C ）：40%（S51），55%（S51～53），70%（S51，53）

(2) スランプ：7±1 cm

(3) 空気量：4～4.5 %

(4) 単位粗骨材容積：表-1.2のように粒度を調整し、表-1.3に示すように細骨材の粗粒率に応じて単位粗骨材容積を定めた。

表-1.2

粒径範囲 (mm)	粒径別 百分率 (%)
25～25	25
20～25	25
15～25	25
10～25	25

表-1.3

細骨材の粗粒率	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
単位粗骨材容積 a)	0.69	0.67	0.65	0.63	0.61

1.2.3 供試体の製作

供試体は、 $7.5 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の大きさとし、JIS A 1132に準じて突き棒による締固めを行って製作した。供試体の数量は表-1.1に示したとおりである。

1.2.4 試験方法及び測定方法

凍結融解試験装置及び動弾性係数測定器等は、各所で通常使用しているものを用いた。また、凍結融解サイクル等も各所で通常採用している試験条件で行った。凍結融解試験開始時の供試体の材令は、51、52年度は2.1日とし、53年度は供試体送付の都合により28日とした。測定方法は、つぎのとおりとした。

(1) 初期の動弾性係数、供試体重量の測定および写真撮影を行なった後、凍結融解試験を開始し、その後所定のサイクル(5~6, 10~15, 50, 100, 150, 200, 250, 300付近)に達したとき、同様の測定を行う。なお、測定時に供試体表面などをよく観察し、記録しておく。ただし、300サイクルに達する前に相対動弾性係数比が60%以下に達した時は、試験を中止してもよい。

なお、動弾性係数比 ρ 、重量減少率WDおよび耐久性指数D.Fは次式により算定する。

$$\rho = \frac{f_n^2}{f_0^2} \times 100$$

$$WD = \frac{W_0 - W_n}{W_0} \times 100$$

$$D.F = \frac{\rho \cdot N}{M}$$

ここに、 W_0, f_0 : 凍結融解0サイクルにおける重量および1次たわみ振動数

W_n, f_n : 凍結融解 n サイクルにおける重量および1次たわみ振動数

ρ : N サイクルにおける動弾性係数比(%)

N : P が達した所定の試験を中断すべき最小サイクル数、または曝露を終止すべき所定サイクル数、この両者のうち小なるもの

M : 曝露を終止すべき所定サイクル数(300サイクル)

(2) 所定のサイクルに達した時の1サイクルにおける試験槽の液温や供試体の中心温度の変化に異常がないかどうか点検する。

(3) 測定後、供試体を装置に戻すときには、供試体の上下を反対にして戻す。

(4) ゴム容器から取り出した供試体の表面は、布のようなもので軽く水で洗い流す程度とする。

1.3 調査結果

1.3.1 骨材試験

各試験所で行なわれた粗骨材の一般物理試験結果を表-1.4に示し、また、細骨材の試験結果を表-1.5に示す。

表-1.4 粗骨材の物理試験結果

年度	試験所	記号	種類	産地	最大寸法 (mm)	比重	吸水率 (%)	安定性損失重量 (%)	すりへり量 (%)	単位容積重量 (kg/L)	実積率 (%)	粗粒率 F.M.
51	土研	A-1	砕石 石灰石	栃木県葛生	25	2.74	0.7	(5.6)				
52	東北	B-1	砕流紋 石岩			2.45	4.7	16.5	Ⓐ 13	137	55.9	7.0
	北陸	C-1	砕花崗 石岩	長野県大町市		2.61	1.4	8.0	32	1.67	64.0	7.0
	中国	D-1	砕花崗 石岩	広島県大竹市		2.59	0.9	2.7	49	1.49	57.5	7.0
	土研	E-1	砕石 石灰石	栃木県葛生		2.74	0.7	0.6	Ⓐ 23 Ⓑ 20	1.62	59.5	7.0
53	東北	F-1	砕安山 石岩			2.61	2.1	1.7	Ⓐ 16 Ⓑ 18	1.47	57.5	7.0
	北陸	G-1	砕花崗 石岩	長野県大町市		2.61	1.3	8.5	Ⓐ 32	1.66	63.6	7.0
	中国	H-1	砕花崗 石岩	広島県大竹市		2.59	0.8	2.3	Ⓐ 47	1.52	58.7	7.0
	土研	I-1	砕石 石灰石	栃木県葛生		2.74	0.7	0.6	Ⓐ 23 Ⓑ 20	1.62	59.5	7.0

表-1.5 粗骨材の物理試験結果

年度	試験所	記号	種類	産地	比重	吸水率 (%)	安定性損失重量 (%)	単位容積重量 (kg/L)	実積率 (%)	有機不純物	洗い損失重量 (%)	粗粒率 F.M.
51	土研	a-1	川砂	富士川	2.63	2.0	6.9	1.70		合格	1.5	3.07
52	東北	b-1	川砂	松川	2.55	3.4	4.0	1.62	63.5	〃	2.3	299
	北陸	c-1	川砂	阿賀野川	2.58	2.4	2.1	1.61	62.5	〃	0.4	246
	中国	d-1	川砂	太田川	2.56	1.8	1.8			〃	2.6	278
	土研	e-1	川砂	富士川	2.62	2.2	4.9	1.71	66.7	〃	1.7	307
53	東北	f-1	川砂	白石川	2.57	2.9	1.8	1.59	63.7	〃	0.8	257
	北陸	g-1	川砂、砕砂混合	大石・荒川合流点	2.57	2.5	7.0	1.71	66.4	〃	5.2	276
	中国	h-1	川砂、海砂混合	太田川・瀬戸内海	2.54	1.6	4.1			〃	1.9	270
	土研	i-1	川砂	富士川	2.61	2.3	6.7			〃		294

1.3.2 コンクリートの配合及びまだ固まらないコンクリートの試験

コンクリートの配合及びまだ固まらないコンクリートの試験結果を表-1.6に示す。

表-1.6 コンクリートの配合及びまだ固まらないコンクリートの試験結果

年 度	試 験 所	骨 材		配 合							スランブ (cm)	空気量 (%)	コンクリート 温 度 (℃)
		粗	細	W/C (%)	s/a (%)	W (Kg/m ³)	C (Kg/m ³)	S (Kg/m ³)	G (Kg/m ³)	混和剤 (C×%)			
51	土研	A-1	a-1	40	41	168	420	711	1,065	0.016	8.5	3.9	23
				55	44	163	296	814	1,079	0.014	7.0	3.8	22
				70	47	173	247	876	1,029	0.013	6.5	4.3	21
52	東北	B-1	b-1	55	49	173	315	851	863	0.063	7.0	4.3	20.5
	北陸	C-1	c-1		35	149	271	653	1,229	0.025	6.0	4.5	19
	中国	D-1	d-1		45	174	316	789	967	0.030	6.5	4.5	
	土研	E-1	e-1		48	162	295	877	1,008	0.008	6.5	4.2	21
53	東北	F-1	f-1	55	45	175	318	777	985	0.061	7.0	4.4	24.5
				70	45	184	263	798		0.050	7.5	4.5	24.0
	北陸	G-1	g-1	55	42	156	284	763	1,087	0.020	7.5	4.1	25.6
				70	43	154	220	819		0.020	6.0	4.3	26.0
	中国	H-1	h-1	55	41	186	338	709	1,004	0.400	7.0	4.0	25.5
				70	43	190	272	752		0.400	7.0	4.3	24.5
	土研	I-1	i-1	55	45	165	300	846	1,030	0.012	6.5	4.2	23.5
				70	47	165	236	898		0.012	6.0	4.2	22.5

1.3.3 コンクリートの凍結融解試験

各年度各試験所で行なわれたコンクリートの凍結融解試験の試験条件の概要を表-1.7に、温度履歴を図-1.1に示す。これらの試験条件で得られた結果の一覧を表-1.8に、同一バッチ供試体についての試験結果を動弾性係数及び重量別にそれぞれ図-1.2, 1.3に示す。

表-1.7 試験条件等の概要

年 度	試験所	槽 数	供試体の 中心温度 (℃)	試験槽の 溶 温 (℃)	1 サイクルの所要時間 (1日あたりの) サイクル数	供試体容器の形状および材質		
						内径及び厚さ (mm)	内側の形状 (mm)	材 質
51	北開土試	3	5.5~ -17.5	10.0~ -19.2	2時間29分 (9.7回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム
	東 北	1	5.0~ -18.0	21.7~ -21.0	3時間 5分 (7.8回/日)	117×87×565 (3)	凹 凸 (2)	ゴ ム
	北 陸	2	4.5~ -17.4	12.1~ -22.6	3時間20分 (7.2回/日)	110×85×480 (2.5)	突 起 ($\phi:2.5$ h:3)	ゴ ム
	中 国	1	4.7~ -18.0	8.6~ -20.1	2時間27分 (9.8回/日)	112×87×503 (3)	突 起 ($\phi:2\sim3$ h:3)	ゴ ム
	土 研	1	5.3~ -17.0	17.2~ -21.7	3時間24分 (7.0回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム
52	東 北	1	4.3~ -17.9	11.0~ -20.8	3時間15分 (7.4回/日)	111×81×562 (3)	凹 凸 (2)	ゴ ム
	北 陸	2	5.0~ -18.1	9.7~ -20.6	3時間 (8回/日)	110×85×480 (2.5)	突 起 ($\phi:2.5$ h:3)	ゴ ム
	中 国	1	5.0~ -17.8	7.0~ -20.0	2時間47分 (8.6回/日)	112×87×503 (3)	突 起 ($\phi:2\sim3$ h:3)	ゴ ム
	* 北開土試	3	188~ -23.5	24.0~ -25.0	2時間40分 (9回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム
	土 研	1	5.3~ -18.2	15.3~ -22.8	3時間40分 (6.5回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム
53	東 北	1	5.0~ -18.0	10.0~ -20.0	3時間 (8.0回/日)	117×87×562 (3)	凹 凸	軟 質 ゴ ム
	北 陸	2	5.0~ -18.0	10.0~ -20.0	3時間 (8.0回/日)	110×85×480 (2.5)	突 起 ($\phi:2.5$ h:3.0)	ゴ ム
	中 部	1	5.0~ -18.0	10.0~ -20.0	2時間30分 (9.5回/日)	106×81×480 (2.5)	突 起	ゴ ム
	中 国	1	4.3~ -17.8	7.0~ -20.0	2時間40分 (9.0回/日)	112×87×503 (3)	突 起 ($\phi:2\sim3$ h:3)	ゴ ム
	北開土試	3	5.2~ -17.8	10.0~ -20.2	2時間26分 (9.8回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム
	土 研	1	5.3~ -18.2	15.3~ -22.8	4時間 (6回/日)	109×84×562 (3)	凹 凸 (3)	ゴ ム

* この試験と同時にこなされた10×10×40cm供試体の試験に合わせて温度調整が行われたため、7.5×10×40cm供試体では結果的にここで示すような温度範囲となったものである。

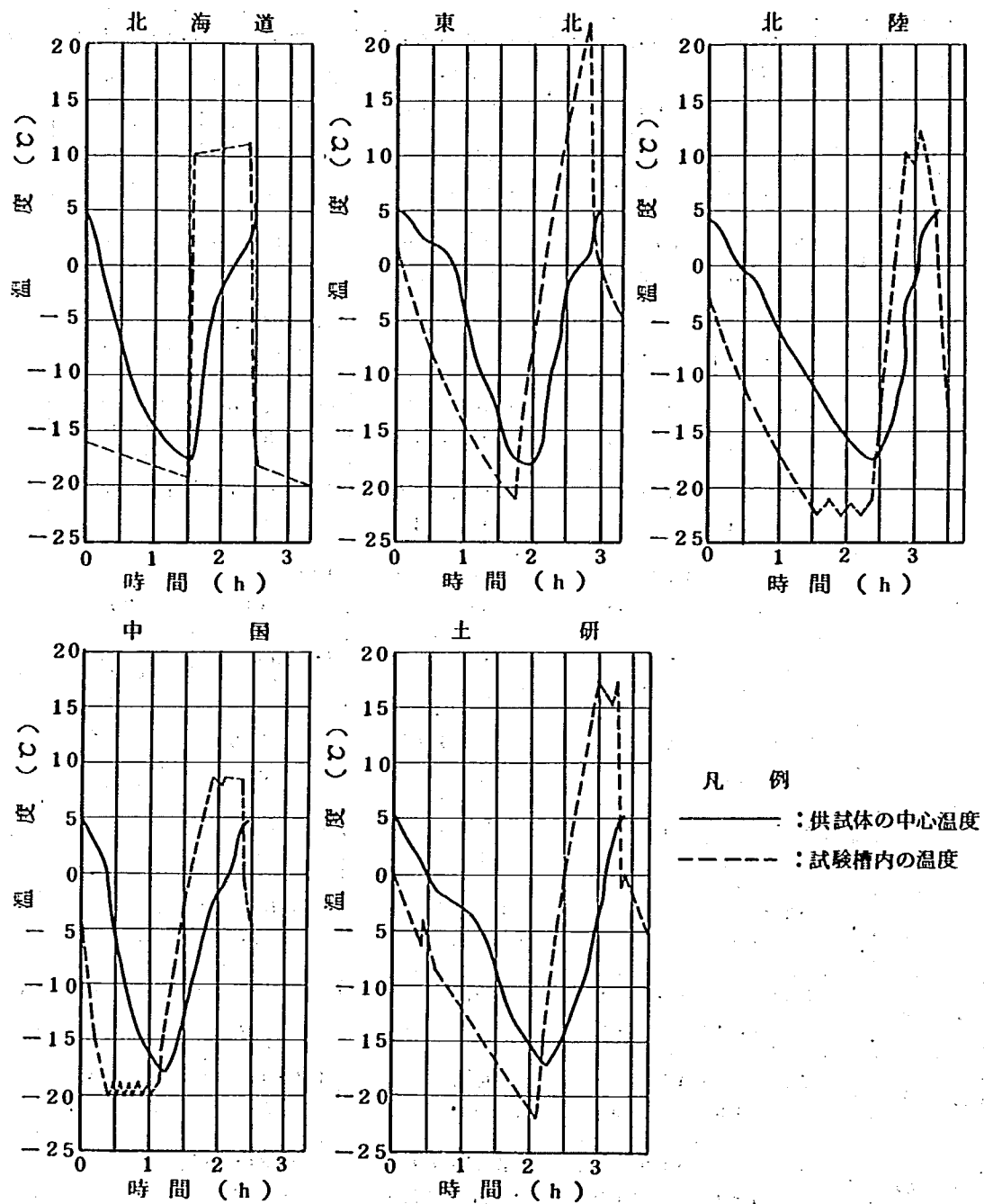


図-1.1 (I) 各試験所ごとの試験温度 (昭和51年度)

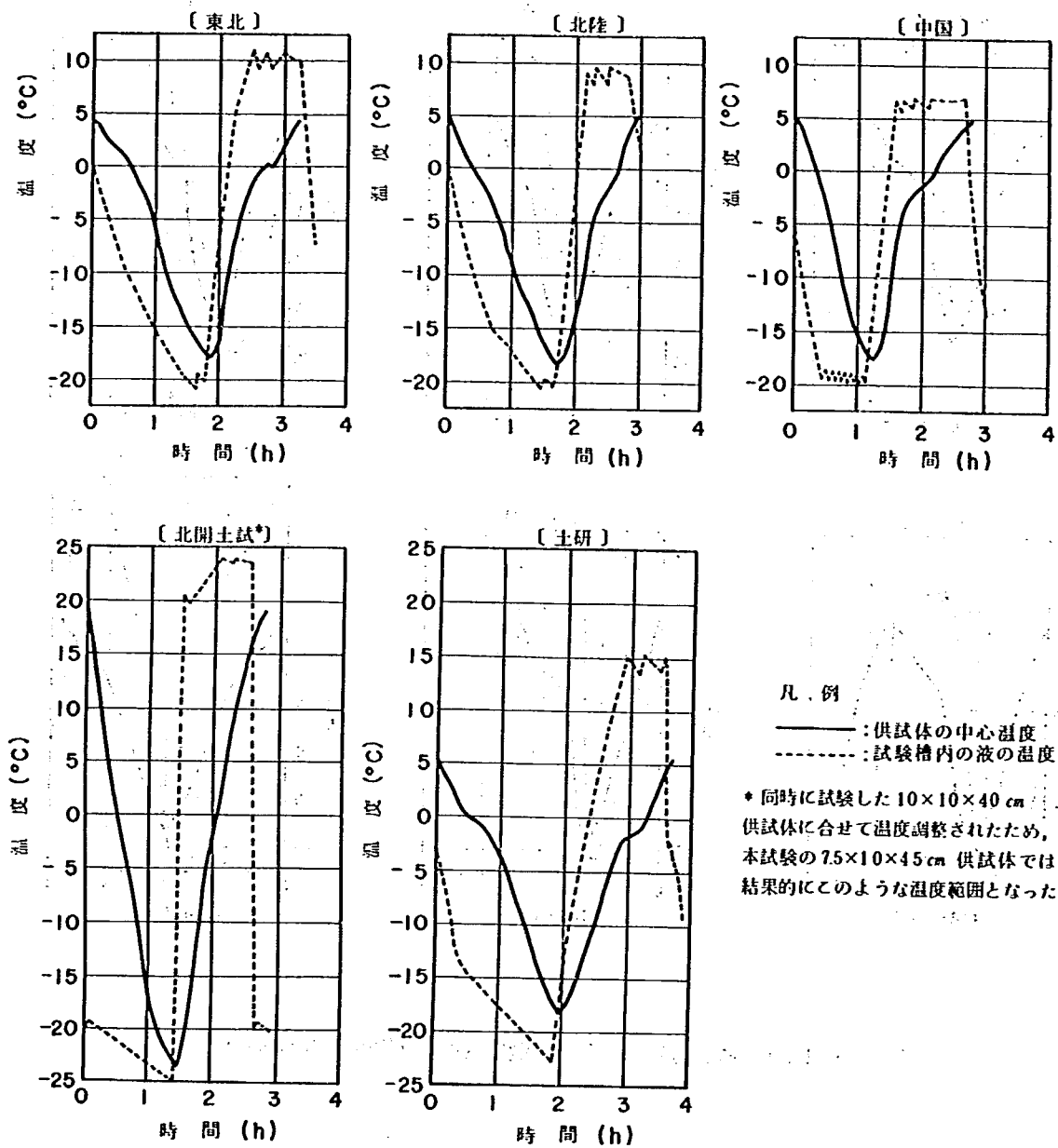
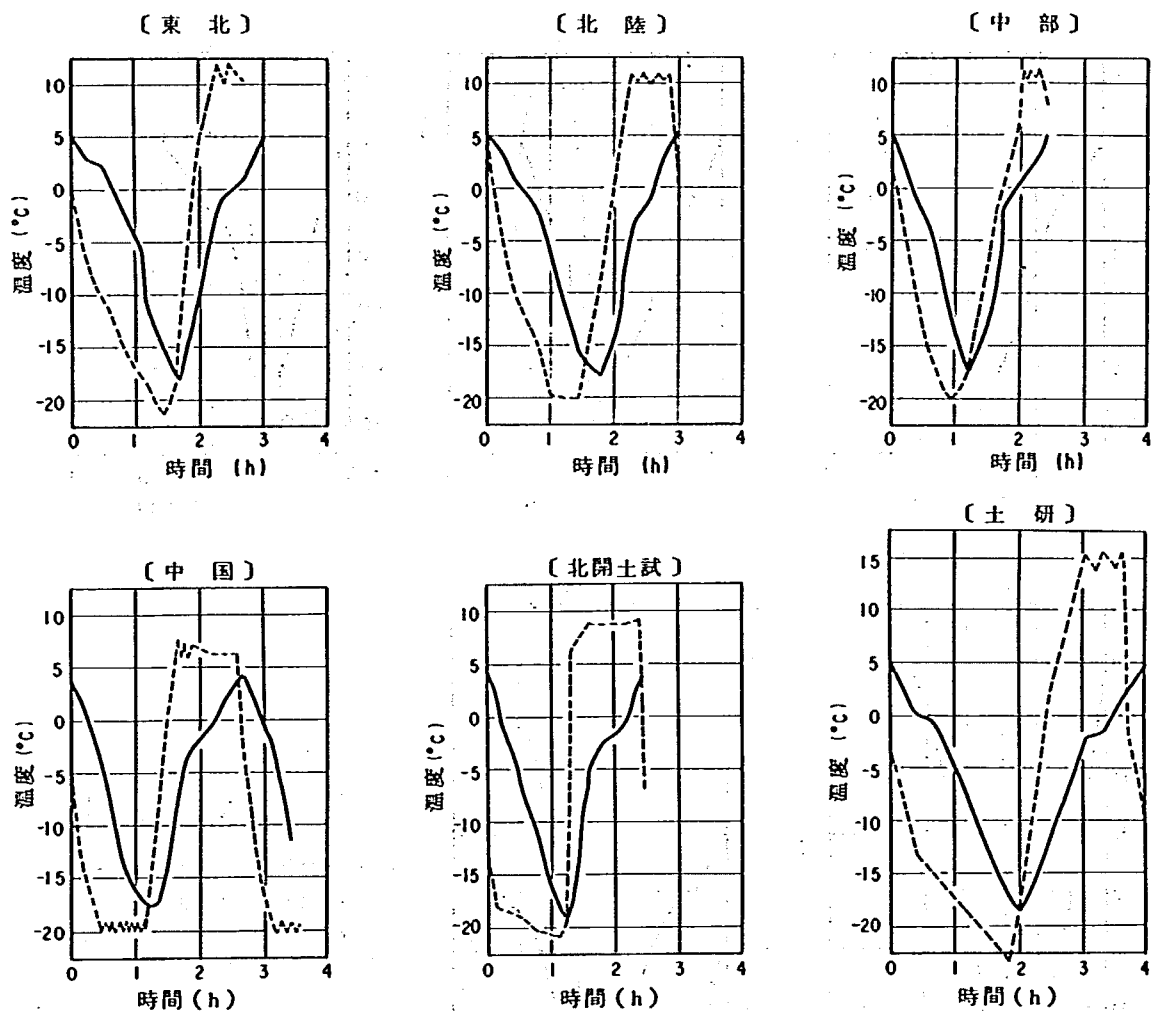


図-1.1(2) 各試験所ごとの試験温度 (昭和52年度)



図－1.1 (3) 各試験所ごとの試験温度（昭和53年度）

表 - 1.1 各年度における供試体の種類及び数量

昭和 5 1 年度

実施試験所	製 作 試 験 所				計
	土 研				
	40	55	70	温度測定用*	
北 開 土 試	3	3	3	1	10
東 北	3	3	3	1	10
北 陸	3	3	3	1	10
中 国	3	3	3	1	10
土 研	3	3	3	1	10
計	15	15	15	5	50

* 中心温度測定用供試体は $W/C = 55\%$ とした。

昭和 5 2 年度 ($W/C = 55\%$)

実施試験所	製 作 試 験 所					計
	東 北	北 陸	中 国	土 研		
	本供試体	本供試体	本供試体	本供試体	温度測定用	
東 北	3	3	3	3	1	13
北 陸	3	3	3	3	1	13
中 国	3	3	3	3	1	13
北 開 土 試	3	3	3	3	1	13
土 研	3	3	3	3	2	14
計	15	15	15	15	6	66

昭和 5 3 年度

実施試験所	製 作 試 験 所									計
	東 北		北 陸		中 国		土 研			
	55	70	55	70	55	70	55	70	温度測定用*	
東 北	3		3		3		3		1	13
北 陸	3	3	3	3	3	3	3	3	1	25
中 部	3	3	3	3	3	3	3	3	1	25
中 国	3	3	3	3	3	3	3	3	1	25
北 開 土 試	3	3	3	3	3	3	3	3	1	25
土 研	3	3	3	3	3	3	3	3	2	26
計	18	15	18	15	18	15	18	15	7	127
	33		33		33		40			

* 中心温度測定用供試体は $W/C = 55\%$ とした。

表-1.8(1) コンクリートの凍結融解試験結果(昭和51年度)

試験所	水セメント比 W/C (%)	区 分	3 本 の 平 均 値 (%)									D.F.
			0	4	13	53	114	148	209	245	300	
北開土試	70	N(回)	0	4	13	53	114	148	209	245	300	67.3
		ρ (%)	100.0	92.6	94.7	93.2	90.9	86.2	79.9	75.6	67.3	
		W(%)	100.0	100.1	100.0	98.9	98.0	97.3	96.4	95.9	95.0	
	55	N	0	2	11	40	101	135	196	260	300	70.5
		ρ	100.0	98.0	93.9	93.5	91.3	88.3	82.4	72.9	70.5	
		W	100.0	100.0	100.0	99.5	99.1	98.8	98.4	98.0	97.6	
	40	N	0	15	29	55	90	161	221	249	300	84.1
		ρ	100.0	98.1	96.4	96.8	95.8	93.1	89.8	88.2	84.1	
		W	100.0	100.0	99.9	99.8	99.8	99.5	99.5	99.4	99.3	
東 北	70	N	0	5	15	50	100	150	201	252	300	57.9
		ρ	100.0	99.5	95.6	94.7	93.3	90.9	80.3	66.7	55.4	
		W	100.0	100.0	99.8	98.8	98.0	97.4	96.5	95.5	94.3	
	55	N	0	5	15	50	100	150	201	253	301	63.4
		ρ	100.0	98.0	96.8	95.8	94.8	89.7	78.2	72.2	63.2	
		W	100.0	99.9	99.8	99.4	99.2	99.0	98.8	98.5	98.2	
	40	N	0	5	15	50	100	155	201	251	302	80.5
		ρ	100.0	98.1	97.3	97.3	97.1	95.7	93.7	85.5	80.3	
		W	100.0	100.0	99.9	99.8	99.8	99.6	99.6	99.5	99.5	
北 陸	70	N	0	6	12	50	99	150	200	249	300	81.3
		ρ	100.0	93.6	91.1	90.3	90.2	87.7	87.2	82.8	81.3	
		W	100.0	100.1	100.0	99.1	98.4	98.0	97.4	97.2	96.8	
	55	N	0	6	12	50	99	150	200	249	300	83.2
		ρ	100.0	93.1	94.3	91.4	89.3	89.7	88.5	83.7	83.2	
		W	100.0	100.0	100.0	99.7	99.4	99.1	98.9	98.7	98.3	
	40	N	0	6	12	50	99	150	200	249	300	90.3
		ρ	100.0	98.8	98.5	97.7	96.7	95.9	95.1	93.0	90.3	
		W	100.0	100.0	100.0	99.9	99.7	99.6	99.5	99.4	99.3	
中 国	70	N	0	6	12	56	104	157	207	263	301	76.4
		ρ	100.0	93.4	92.3	90.6	88.8	84.2	86.4	80.7	76.3	
		W	100.0	100.0	99.8	99.0	98.1	97.5	97.1	96.4	96.0	
	55	N	0	6	12	50	98	151	201	257	302	77.8
		ρ	100.0	94.6	93.0	92.9	89.9	83.7	81.9	79.7	77.7	
		W	100.0	100.0	100.0	99.6	99.1	98.8	98.6	98.3	98.1	
	40	N	0	6	14	44	92	145	195	251	300	89.1
		ρ	100.0	100.0	97.7	96.3	95.2	93.5	93.0	91.1	89.1	
		W	100.0	100.0	100.0	99.9	99.8	99.7	99.6	99.5	99.5	
土 研	70	N	0	5	10	54	101	154	206	251	300	93.6
		ρ	100.0	96.2	95.8	95.7	95.2	94.0	94.3	94.8	93.6	
		W	100.0	99.9	99.3	96.7	94.4	91.8	90.3	89.3	88.0	
	55	N	0	5	10	49	104	149	201	259	302	76.0
		ρ	100.0	95.8	95.6	94.2	91.9	90.1	86.1	80.1	75.8	
		W	100.0	99.9	99.9	98.7	97.8	96.9	96.2	94.7	94.1	
	40	N	0	5	10	53	99	151	196	254	303	85.7
		ρ	100.0	97.2	97.8	96.5	95.9	95.1	92.7	90.4	85.2	
		W	100.0	99.9	99.9	99.7	99.4	99.2	99.1	98.9	98.7	

注) 区分のNは凍結融解くり返し回数, ρ は動弾性係数比, Wは重量変化率

表-1.8(2) コンクリートの凍結融解試験結果(昭和52年度)

試験所		区分*	3本の平均値 (%)											D.F.
供試体の製作	試験													
東北	東北	N(回)	0	5	15	47	100	150	200				7.2	
		ρ (%)	100	87.9	77.0	49.1	40.3	28.2						
		W(%)	0	0.1	0.2	0.3	1.1	1.9	2.6					
	北陸	N	0	5	12	50	73						10.5	
		ρ	100	93.3	84.1	53.2	45.3							
		W	0	0.2	0.1	0.9	1.3							
	中国	N	0	6	16	50	100	150					6.8	
		ρ	100	87.5	71.7	47.0	31.2	22.5						
		W	0	-0.8	-0.4	0	0.6	1.2						
	北開土試	N	0	6	15	52	97	150					18.0	
ρ		100	89.9	82.6	70.7	61.2								
W		0	0	0	1.2	3.4								
土研	N	0	5	16	28							6.2		
	ρ	100	90.8	74.6	62.3									
	W	0	0.2	2.2	4.8									
北陸	東北	N	0	5	15	47	100	150	200	250	300		48.0	
		ρ	100	91.7	86.2	79.7	72.9	65.7	62.7	55.5	53.1			
		W	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.6	0.7	1.1	1.4			
	北陸	N	0	5	12	50	73	100	130	150	198	252	40.9	
		ρ	100	93.2	91.8	78.1	76.5	71.2	65.3	63.8	70.9	58.0		
		W	0	0.1	0.2	0.8	1.4	2.9	4.3	4.4	4.0	4.9		
	中国	N	0	6	16	50	100	150	200	250	300		52.3	
		ρ	100	92.9	89.3	80.6	77.2	68.5	57.7	49.9	57.7			
		W	0	0.1	0.1	0.1	0.1	0.3	0.6	1.0	1.3			
	北開土試	N	0	6	15	52	97	150	198	253	300		36.2	
ρ		100	94.9	92.4	81.1	74.3	67.3	56.4	53.8	46.1				
W		0	0	0	0.1	0.4	1.0	1.6	2.8	3.4				
土研	N	0	5	16	28	53	100	148	160			33.9		
	ρ	100	93.1	89.0	86.2	82.1	73.6	66.6	53.0					
	W	0	0.1	0.4	1.1	2.2	3.4	6.7	7.3					
中国	東北	N	0	5	15	47	100	150	200	250	300		84.5	
		ρ	100	92.4	87.6	86.5	85.6	85.2	84.7	84.7	83.1			
		W	0	0.1	0.4	0.5	0.7	0.9	1.2	1.4	1.6			
	北陸	N	0	5	12	50	73	100	150	198	252	300	80.4	
		ρ	100	93.6	90.3	87.3	85.6	83.2	83.3	82.7	77.7	80.4		
		W	0	0.1	0.1	1.1	1.5	2.1	2.8	3.7	4.5	5.0		
	中国	N	0	6	16	50	100	150	200	250	300		85.6	
		ρ	100	91.5	92.1	85.0	87.3	94.4	83.7	87.1	85.6			
		W	0	0	0.1	0.3	0.6	0.9	1.4	1.9	2.3			
	北開土試	N	0	6	15	52	97	150	198	253	300		77.5	
ρ		100	91.8	88.9	86.4	85.5	82.3	81.4	78.1	77.5				
W		0	0.1	0.2	1.1	1.9	2.9	4.2	5.8	6.7				
土研	N	0	5	16	28	53	100	148	199	250	301	78.1		
	ρ	100	88.0	85.8	85.8	85.5	84.0	82.3	81.3	79.4	78.1			
	W	0	0	1.0	1.0	2.2	4.6	6.7	7.3	8.6	9.9			
土研	東北	N	0	5	15	47	100	150	200	250	300		68.6	
		ρ	100	97.3	95.3	93.7	85.6	84.6	79.8	75.1	68.6			
		W	0	0	0.1	0.5	0.8	1.1	1.3	1.6	2.0			
	北陸	N	0	5	12	50	73	100	150	198	252	300	69.9	
		ρ	100	97.3	96.3	94.3	93.5	92.1	88.2	82.1	74.6	69.9		
		W	0	0.2	0.2	1.0	1.1	1.5	2.1	2.7	3.5	3.9		
	中国	N	0	6	16	50	100	150	200	250	300		52.2	
		ρ	100	89.3	86.7	88.1	80.0	77.4	67.8	60.4	49.0			
		W	0	1.0	0.2	0.9	1.3	1.8	2.4	3.0	3.4			
	北開土試	N	0	6	15	52	97	150	198	253	300		55.5	
ρ		100	96.8	96.8	93.2	88.9	79.4	71.7	62.4	56.8				
W		0	0.1	0.1	0.8	1.4	2.2	2.9	3.8	4.5				
土研	N	0	5	16	28	53	100	148	199	250	301	50.2		
	ρ	100	96.2	94.5	94.7	94.0	89.5	83.7	73.7	60.9	50.2			
	W	0	0	0.3	0.9	2.1	4.3	6.2	7.0	8.5	10.1			

* 区分のNは凍結融解くりかえし回数, ρ は動弾性係数比, Wは重量減少率

表-1.8(3) コンクリートの凍結融解試験結果 (昭和53年度)

試 験 所		W/C (%)	区 分 [*]	3 本 の 平 均 値 (%)										D. F.
供試体の製作	試 験													
東 北	東 北	55	N(回)	0	5	15	50	101	150	200	250			333
			ρ (%)	100	968	89.0	77.2	67.6	61.7	51.6	41.2			
			WD(%)	0	0	0.1	0.4	1.7	2.5	3.4				
	北 陸	55	N	0	6	12	50	100	150					343
			ρ	100	97.3	95.2	87.3	73.1	61.8					
			WD	0	0	0	0.4	1.2	2.2					
		70	ρ	100	93.2	89.3	64.1							142
			WD	0	0.2	0.1	1.9							
	中 部	55	N	0	5	15	55	95	150	200				453
			ρ	100	94.7	90.8	85.0	78.8	67.7	48.7				
			WD	0	-0.1	0	0.4	1.3	2.8	3.6				
		70	ρ	100	93.0	85.2	65.4	50.3	37.5					168
			WD	0	-0.1	0	1.6	4.3	6.9					
	中 国	55	N	0	5	15	50	100	157	216				283
			ρ	100	96.6	91.9	83.1	73.5	56.2	43.1				
			WD	0	0	0	0.2	0.8	1.9	2.9				
		70	ρ	100	97.4	84.4	39.5							62
			WD	0	-0.1	0.1	1.3							
	北開土試	55	N	0	7	16	55	113	140	198				313
			ρ	100	94.5	88.9	81.2	67.6	64.6	41.5				
			WD	0	0	0.1	1.4	2.6	3.1	4.2				
70		ρ	100	87.9	81.0	61.7	48.2						132	
		WD	0	0.1	1.1	3.2	4.2							
土 研	55	N	0	5	17	37	49	96	158	200	248	305	607	
		ρ	100	96.1	93.0	90.8	90.1	87.4	86.4	81.1	72.5			
		WD	0	0	0.2	0.8	1.8	4.3	6.3	7.2	9.2			
	70	ρ	100	90.0	81.7	68.0	57.4	27.3					92	
		WD	0	0	0.5	4.3	6.6	13.2						
北 陸	東 北	55	N	0	5	15	50	101	150	200	250	300		682
			ρ	100	98.0	90.9	88.9	83.4	81.9	76.4	73.7	68.2		
			WD	0	0.1	0.2	0.3	0.7	1.0	1.3	1.7	2.1		
	北 陸	55	N	0	6	12	50	100	150	200	249			654
			ρ	100	91.8	90.9	85.0	80.7	75.9	71.3	65.9			
			WD	0	0.2	0.2	0.4	1.0	2.4	3.1	3.7			
		70	ρ	100	93.8	90.1	79.0	67.8	64.2	51.8				324
			WD	0	0.2	0.2	0.7	1.7	2.6	3.8				
	中 部	55	N	0	5	15	55	95	150	200	250			363
			ρ	100	93.5	90.8	81.2	75.5	59.5	54.6	44.3			
			WD	0	0	0.1	4.3	1.0	1.5	1.8	2.2			
		70	ρ	100	92.3	87.3	79.6	71.6	57.8	49.0	37.2			335
			WD	0	0	0	0.8	2.5	3.6	4.4	5.7			

表-1.8(4) コンクリートの凍結融解試験結果(昭和53年度)

試 験 所		W/C (%)	区分*	3 本 の 平 均 値 (%)										D.F.	
供試体の製作	試 験														
北 陸	中 国	55	N(回)	0	5	15	50	100	157	216	265	300		54.5	
			ρ (%)	100	100.7	89.1	91.8	81.0	61.8	59.1	65.5	56.5			
			WD(%)	0	0.1	0.2	0.4	0.9	1.4	1.8	2.2	2.5			
		70	ρ	100	100.6	100.7	82.9	73.7	54.3	49.4				30.7	
			WD	0	0	0.2	1.0	2.4	3.9	5.7					
	北開土試	55	N	0	7	16	55	113	140	198	244	300		52.4	
			ρ	100	93.3	82.3	82.4	77.0	75.8	71.7	59.9	54.2			
			WD	0	0	0.1	0.4	1.0	1.3	1.5	1.7	2.1			
		70	ρ	100	92.6	87.3	79.8	70.1	67.4	45.8				32.0	
			WD	0	0.1	0.2	1.5	2.8	3.4	4.5					
土 研	55	N	0	5	17	37	49	96	158	200	248	305		50.7	
		ρ	100	93.3	89.1	85.6	84.5	80.2	74.3	66.7	61.2	49.0			
		WD	0	0.1	0.3	0.5	0.9	1.8	2.8	3.4	4.2	5.5			
	70	ρ	100	92.9	90.5	86.8	87.9	81.2	73.0	70.6	58.1		48.1		
		WD	0	0.1	0.5	1.5	2.5	4.6	6.7	8.4	9.6				
中 国	東 北	55	N	0	5	15	50	101	150	200	250	300		72.1	
			ρ	100	94.6	92.0	88.8	85.8	83.8	78.6	76.7	72.1			
			WD	0	0.1	0.1	0.2	0.6	1.0	1.3	1.6	2.0			
		北 陸	55	N	0	6	12	50	100	150	200	249	300		72.1
				ρ	100	88.1	87.4	83.8	78.4	78.1	76.5	73.4	72.1		
				WD	0	0	0	0.3	0.9	1.5	2.0	2.5	3.0		
	70		ρ	100	88.4	86.2	80.0	74.8	71.2	66.4				54.9	
			WD	0	0.2	0.3	2.5	3.9	8.9	11.0					
	中 部	55	N	0	5	15	55	95	150	200	250			41.2	
			ρ	100	82.1	78.3	75.3	73.9	62.2	59.3	41.1				
			WD	0	0.3	0.1	0.4	1.1	1.7	2.3	2.8				
		70	ρ	100	92.1	90.6	84.4	78.4	69.5	56.4	49.6			41.2	
			WD	0	0	0.5	1.1	2.5	3.4	4.4	6.1				
	中 国	55	N	0	5	15	50	100	157	216	265	300		56.5	
			ρ	100	97.2	90.5	87.2	84.7	77.0	66.4	64.9	53.8			
			WD	0	0.2	0.2	0.5	1.0	1.9	2.5	3.1	3.6			
		70	ρ	100	87.2	91.6	70.7	72.9	55.1	74.7	71.4	64.5		64.2	
			WD	0	0	0.2	1.0	2.8	5.3	6.6	7.5	8.2			
	北開土試	55	N	0	7	16	55	113	140	198	244	300		58.6	
			ρ	100	85.2	81.7	79.5	76.8	75.8	72.5	62.9	58.1			
			WD	0	0	0	0.3	0.9	1.2	1.8	2.4	4.2			
70		ρ	100	86.7	82.1	81.6	71.5	69.2	52.9				33.1		
		WD	0	0	0.1	1.5	2.3	2.6	3.2						
土 研	55	N	0	5	17	37	49	96	158	200	248	305		66.9	
		ρ	100	85.1	84.1	82.0	81.7	79.9	78.4	77.1	74.7	66.1			
		WD	0	0	0.4	0.8	1.2	2.8	4.0	4.5	5.3	6.5			
	70	ρ	100	86.0	83.7	82.3	82.1	79.5	77.0	76.2	69.7	67.4	67.4		
		WD	0	0	0.6	1.7	2.5	6.2	8.6	10.1	12.1	13.8			

表-1.8(5) コンクリートの凍結融解試験結果 (昭和53年度)

試験所 供試体の製作	試験	W/C (%)	区分*	3本の平均値 (%)										D.F.
				N(回)	0	5	15	50	101	150	200	250	300	
土 研	東 北	55	ρ (%)	100	96.6	94.8	92.0	86.1	83.7	76.3	71.6	64.3		64.3
			WD(%)	0	0.1	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.8		
			N(回)	0	5	15	50	101	150	200	250	300		
	北 陸	55	ρ	100	96.2	94.8	92.2	87.0	81.5	76.8	65.9	62.7		61.0 ^注
			WD	0	0.1	0.1	0.4	0.8	1.1	1.3	1.7	2.1		
			N	0	6	12	50	100	150	200	250	300		
		70	ρ	100	95.0	93.6	89.1	82.1	70.3	58.3				41.8
			WD	0	0.2	0.3	1.1	2.3	3.4	4.6				
			N	0	5	15	55	95	150	200	250	300		
	中 部	55	ρ	100	96.8	95.2	88.3	85.5	72.0	63.8	55.6	41.2		43.0
			WD	0	-0.1	-0.3	-0.1	0.1	0.6	1.1	1.4	1.8		
			N	0	5	15	55	95	150	200	250	300		
		70	ρ	100	95.6	92.8	87.6	82.2	69.5	56.0	47.3			39.3
			WD	0	-0.1	-0.1	0.9	2.8	4.5	5.7	6.8			
			N	0	5	15	50	100	157	216	265	300		
	中 国	55	ρ	100	97.8	93.8	92.7	85.1	84.5	67.2	59.2	46.5		49.8
			WD	0	0	0.3	0.9	1.4	1.9	2.8	4.2	5.0		
			N	0	5	15	50	100	157	216	265	300		
		70	ρ	100	103.0	100.6	91.0	81.3	63.5	44.6				33.6
			WD	0	0	0.2	0.7	1.8	3.2	4.7				
			N	0	5	15	50	100	157	216	265	300		
	北開土試	55	ρ	100	95.2	90.6	88.1	84.3	82.1	75.6	70.4	64.1		63.0 ^注
			WD	0	0.1	0.1	0.4	0.7	0.7	1.1	1.3	1.7		
			N	0	7	16	55	113	140	198	244	300		
		70	ρ	100	93.7	92.6	89.3	77.1	73.2	52.6				34.3
			WD	0	0.1	0.2	1.3	3.2	3.7	4.5				
			N	0	5	17	37	49	96	158	200	248	305	
	土 研	55	ρ_1^{**}	100	95.5	93.4	90.9	89.3	85.7	77.3	73.3	63.8	44.7	52.7
			ρ_2	100	95.8	91.9	89.5	89.5	84.3	76.9	71.2	62.9	50.3	
			WD	0	0.1	0.5	0.8	1.2	2.1	2.9	3.6	4.8	5.8	
		70	ρ_1^{**}	100	93.8	92.2	89.9	87.6	78.7	46.3				26.4
			ρ_2	100	94.6	91.5	88.9	87.2	77.3	45.5				
			WD	0	0.1	1.2	2.8	4.0	8.3	11.3				

* 区分のNは凍結融解繰返し回数, ρ は動弾性係数比, WDは重量減少率。なお, 表中で ρ が60%以上で終っているのは, 3本中1本あるいは2本破損のため試験を中止したもの。

** ρ_1, ρ_2 はそれぞれ供試体の温度が5℃, 20℃における動弾性係数比。

注: 300サイクルでの動弾性係数比とD.F.(耐久性指数)の数値が違うのは, 動弾性係数比は300サイクルでの平均値であり, 耐久性指数は各1本ずつの数値を算出し3本間の平均をとるためである。

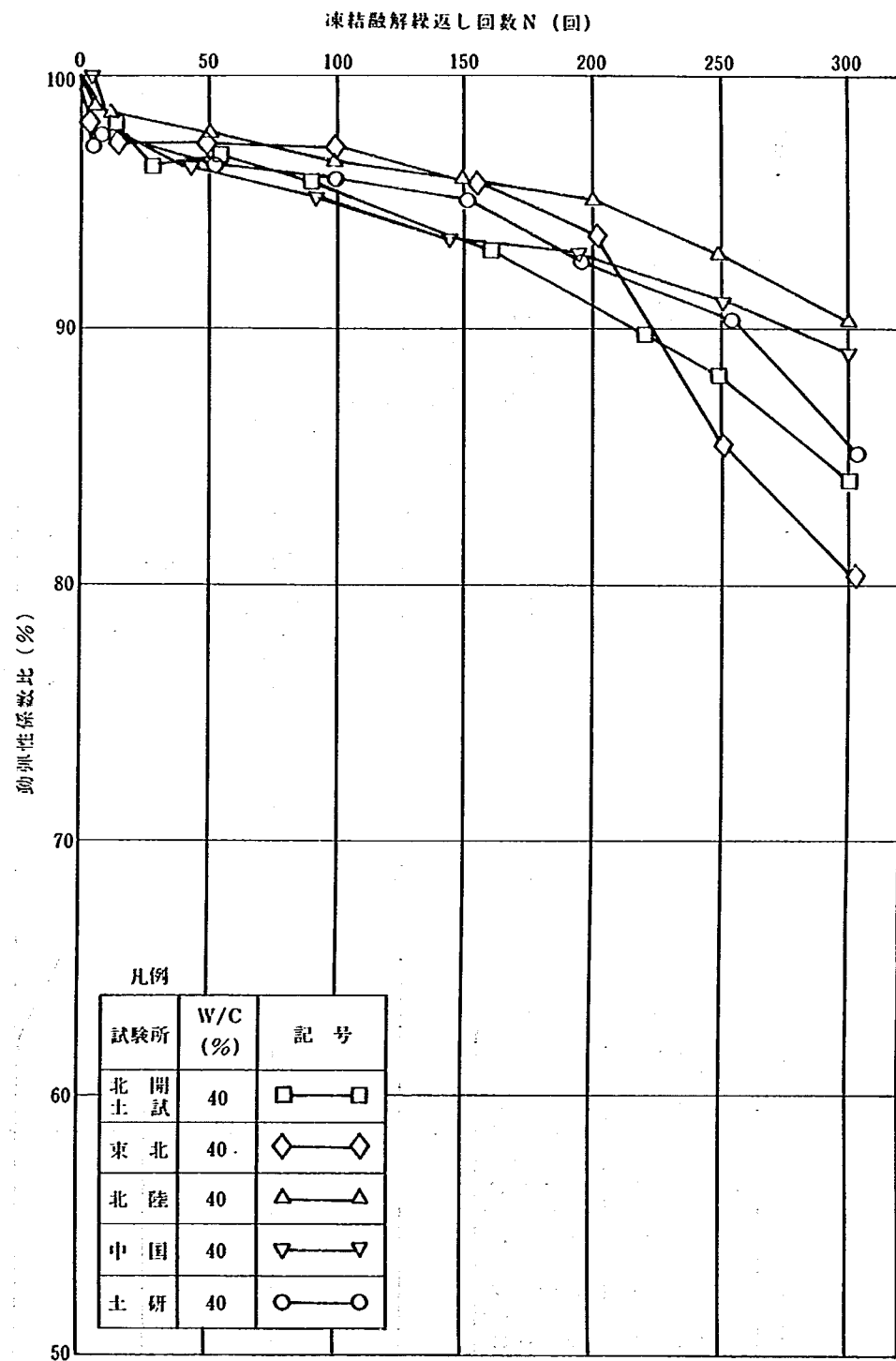


図-1.2(1) 水セメント比40%における凍結融解くり返し回数と動弾性係数との関係
(昭和51年度)

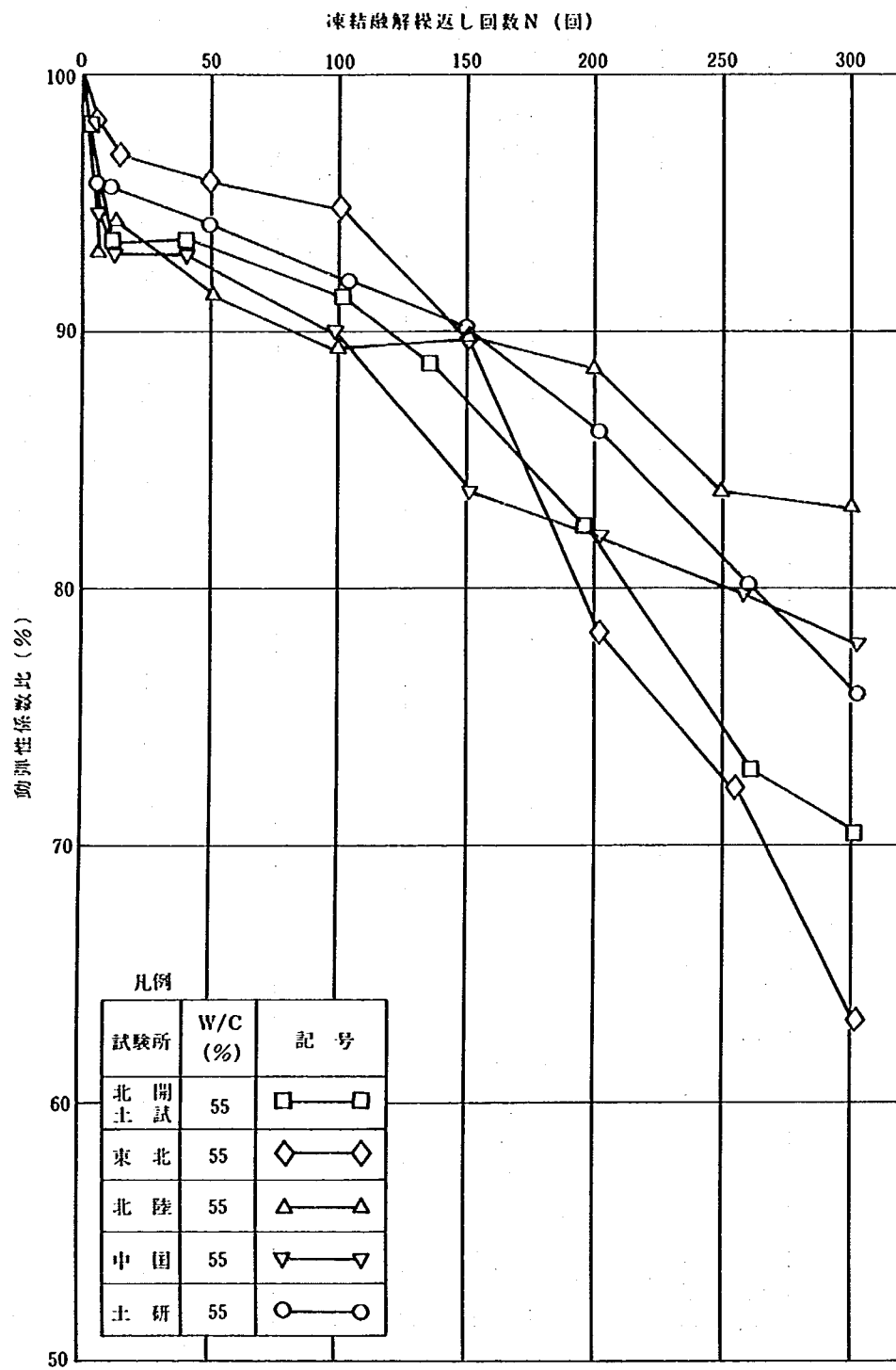


図-1.2(2) 水セメント比55%における凍結融解くり返し回数と動弾性係数との関係
(昭和51年度)

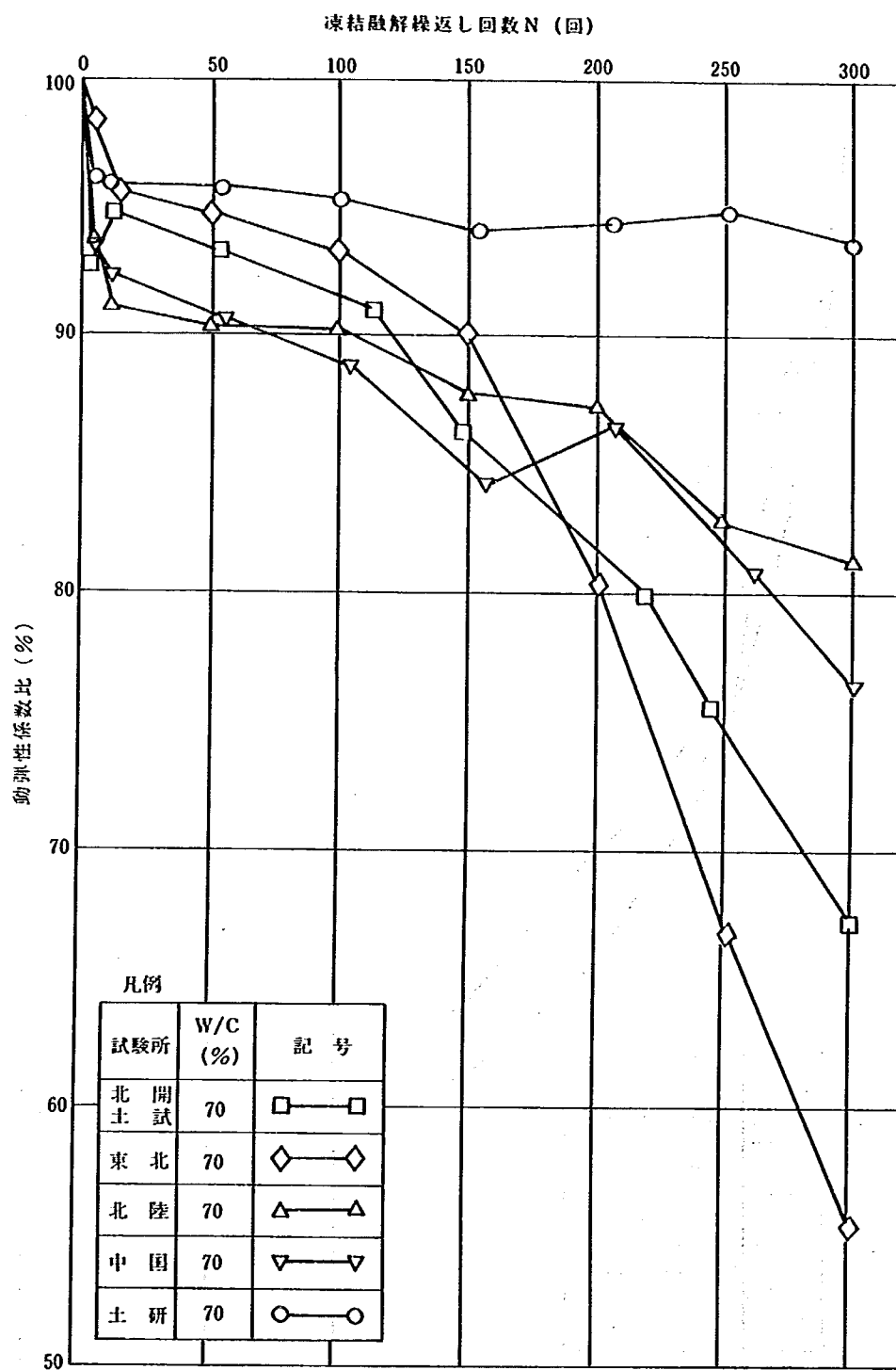


図-1.2(3) 水セメント比70%における凍結融解くり返し回数と動弾性係数との関係
(昭和51年度)

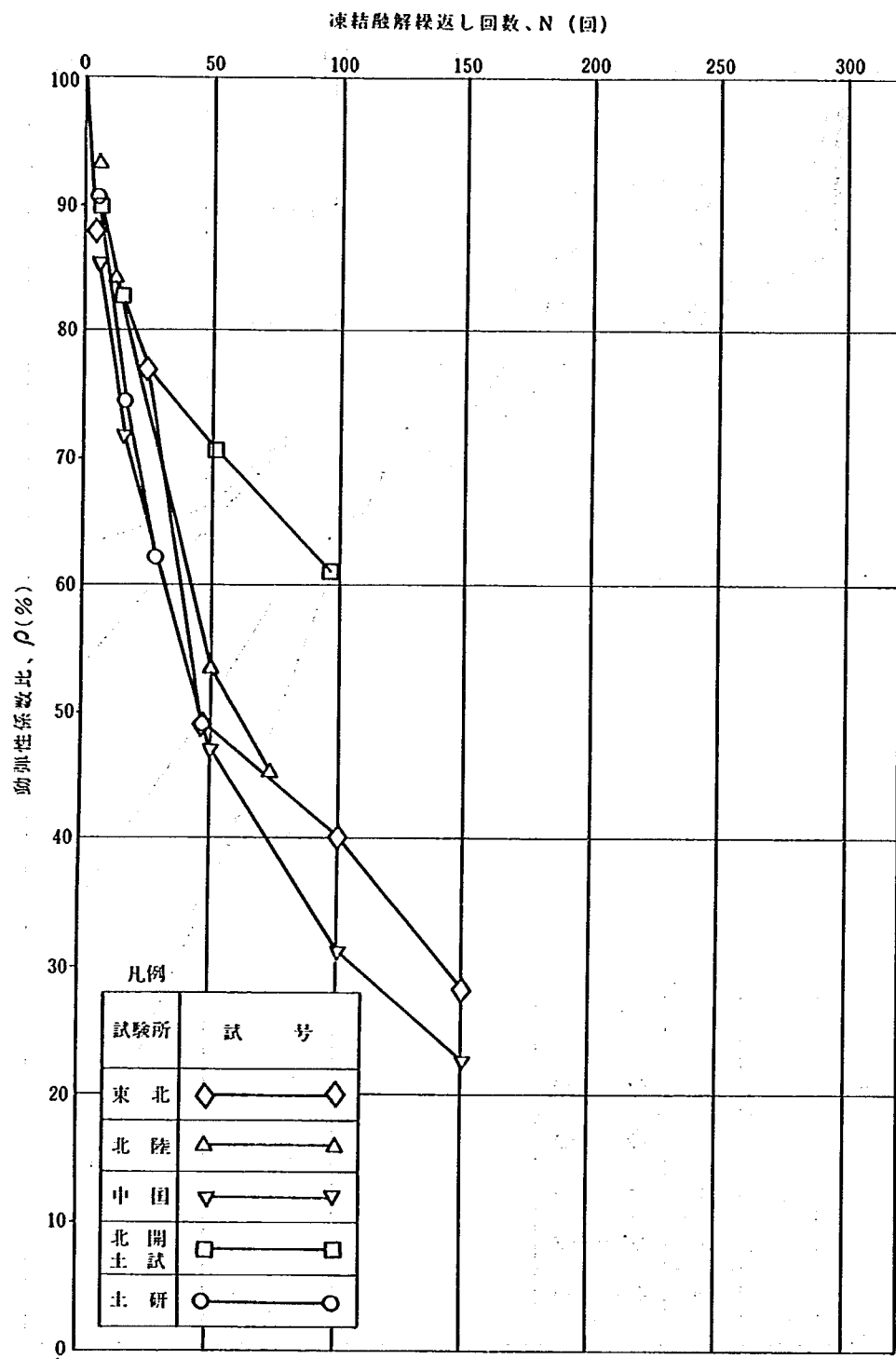


図-1.2(4) 〔東北〕製作供試体における繰返し回数(N)と動弾性係数比(ρ)との関係
(昭和52年度)

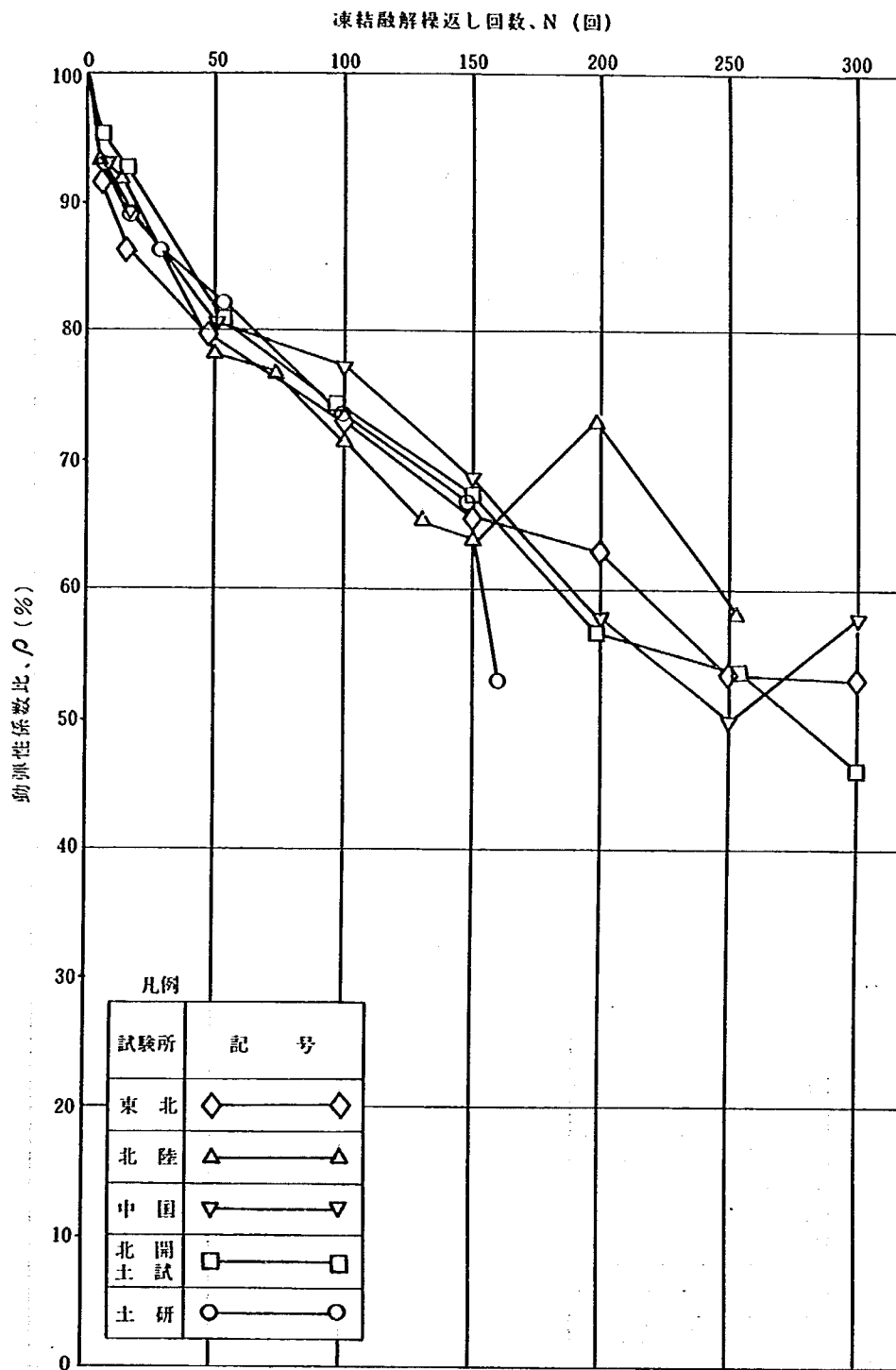
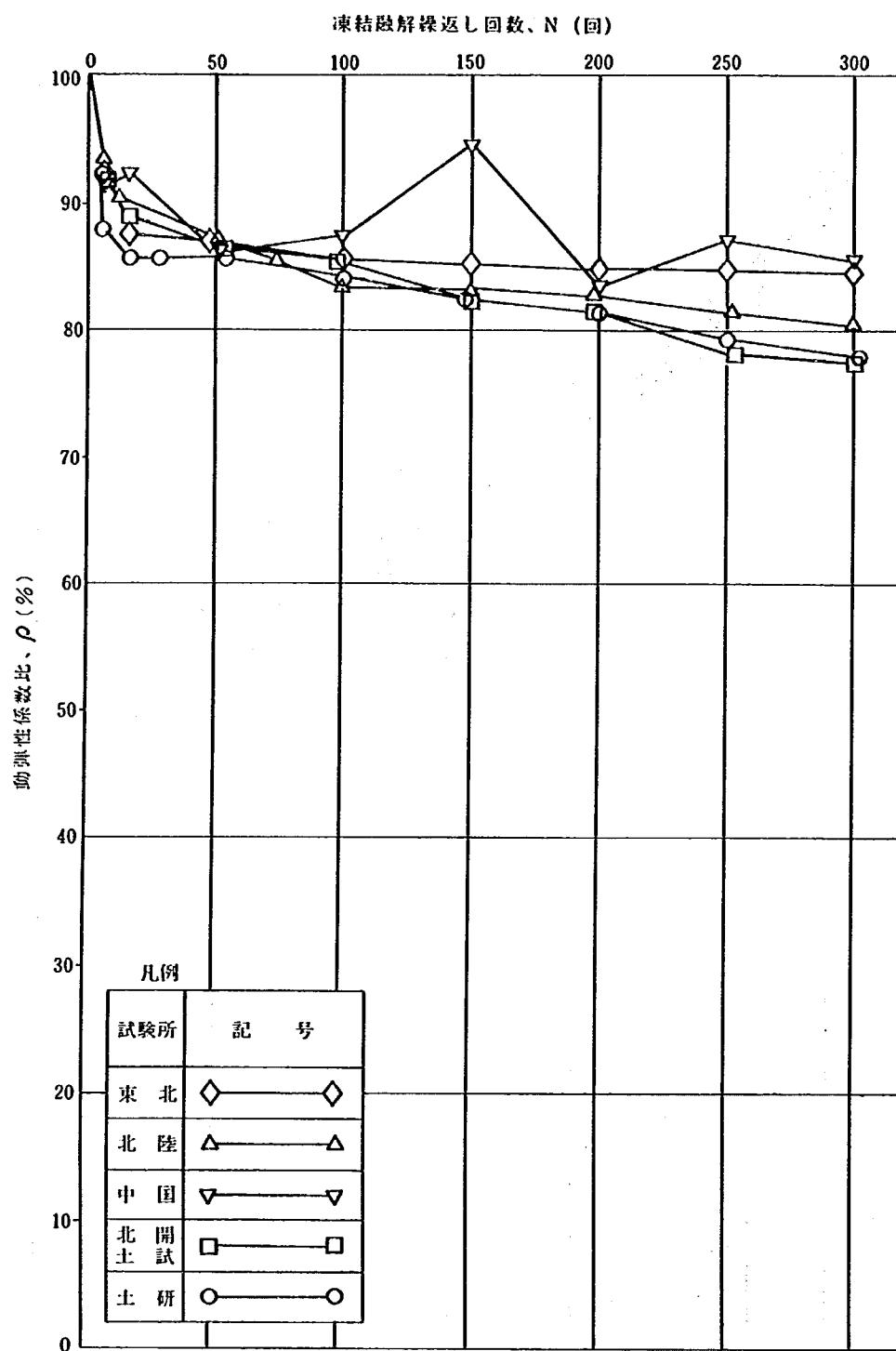


図-1.2(5) 〔北陸〕製作供試体における繰返し回数(N)と動弾性係数比(ρ)との関係
(昭和52年度)



図－1.2(6) 〔中国〕製作供試体における繰返し回数(N)と動弾性係数比(ρ)との関係
(昭和52年度)

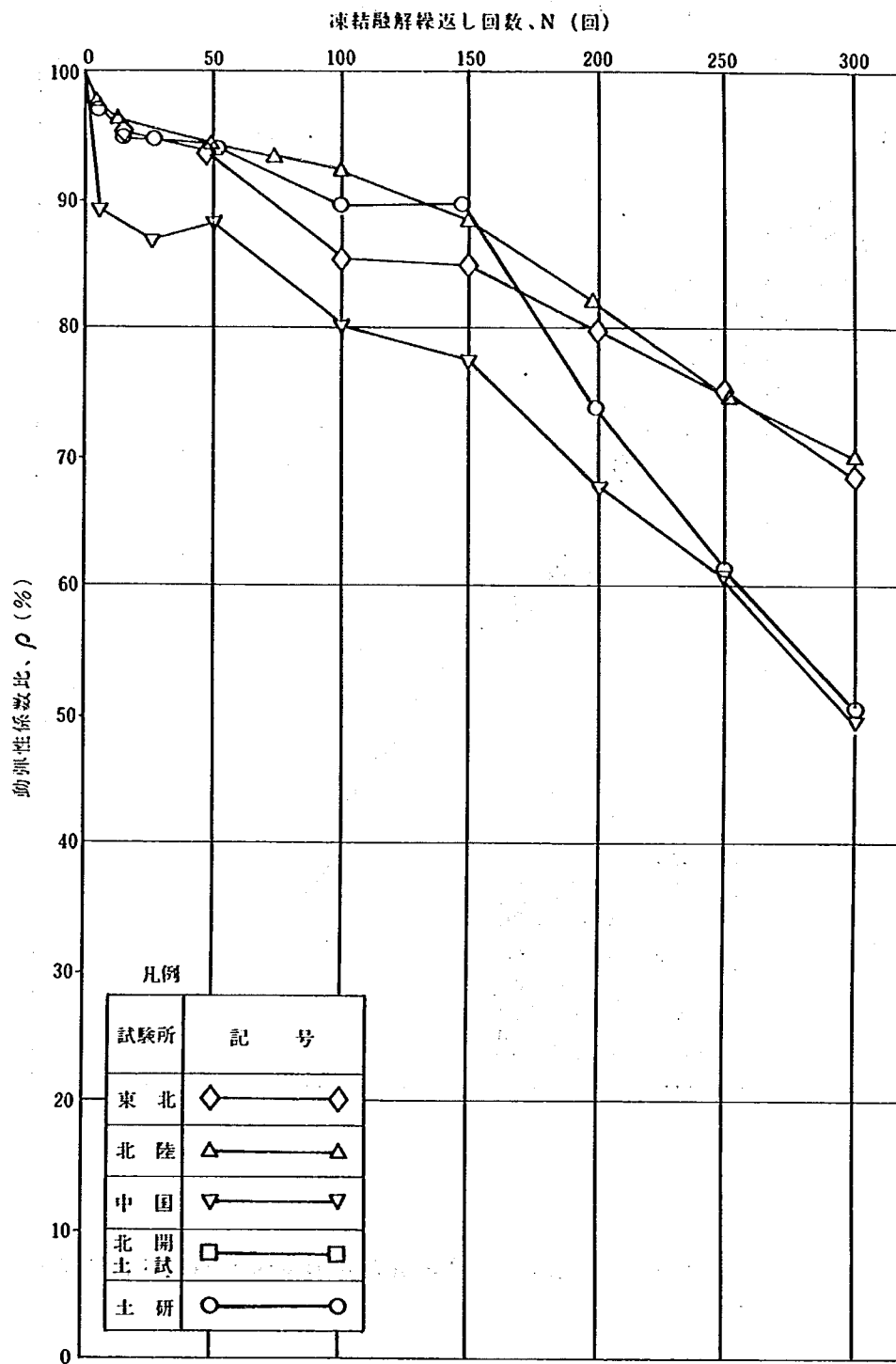


図-1.2(7) 〔土研〕製作供試体における繰返し回数(N)と動弾性係数比(ρ)との関係
(昭和52年度)

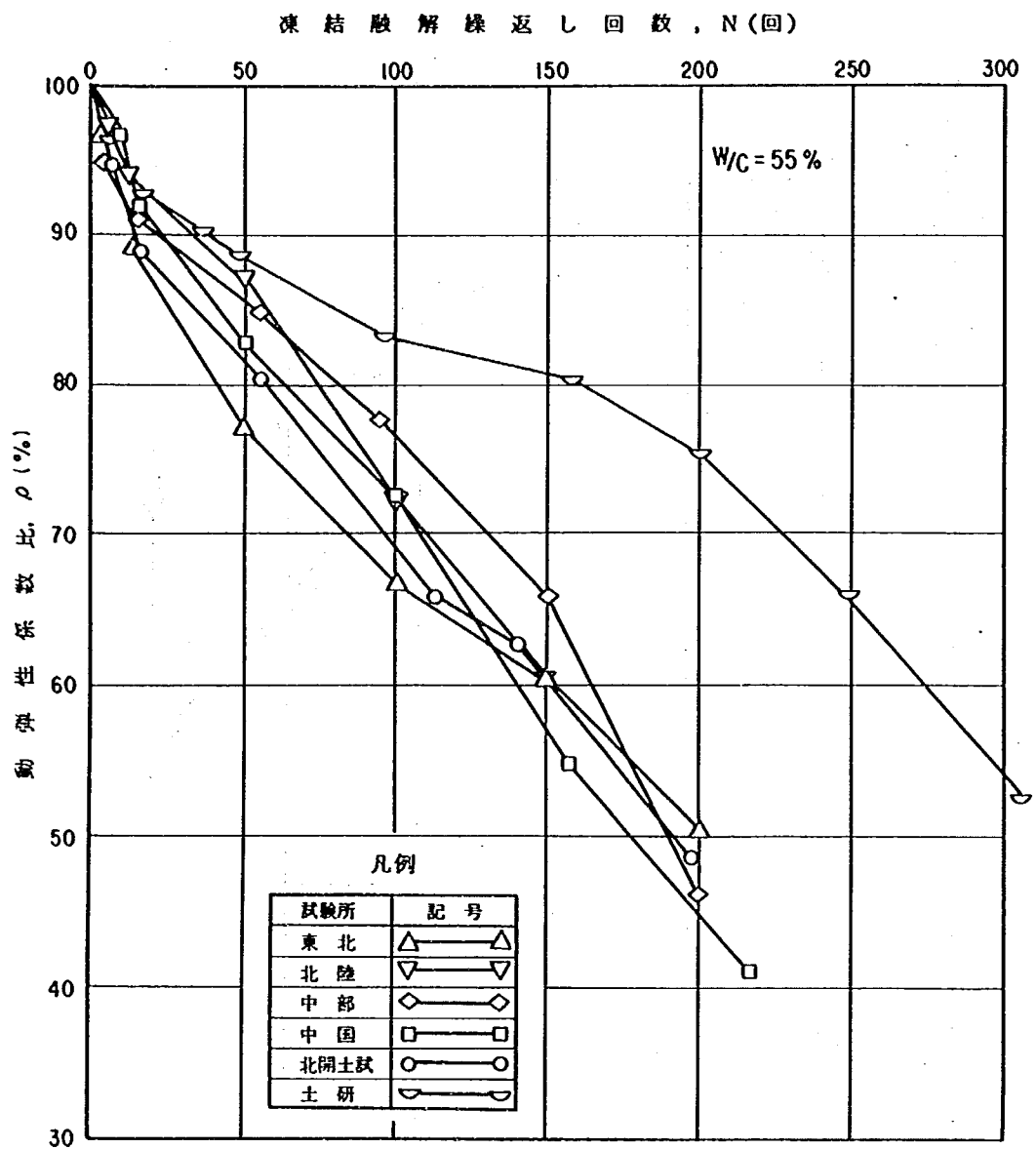


図-1.2(8) 〔東北〕製作供試体における ρ と N の関係 (昭和53年度)

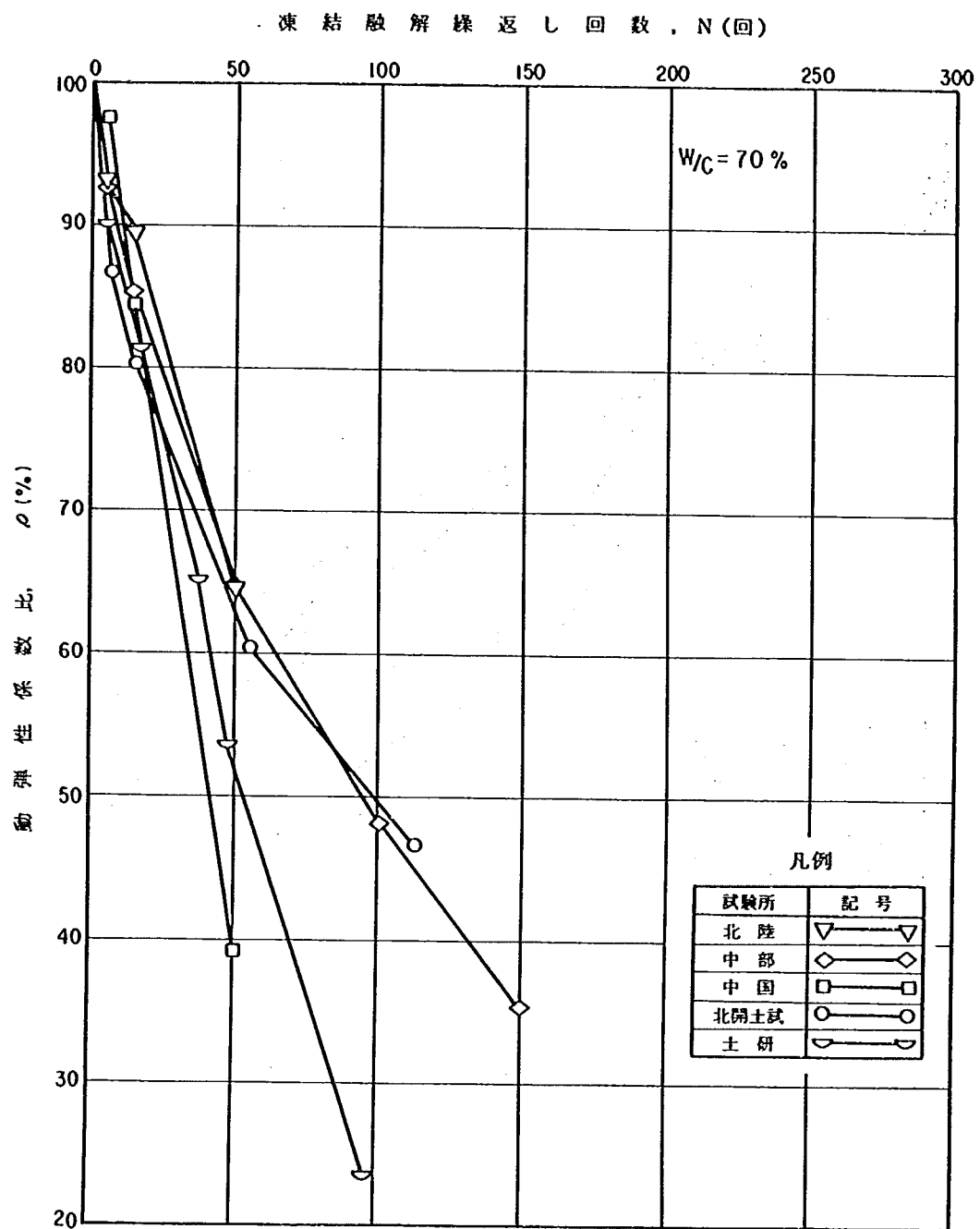


図-1.2(9) 〔東北〕製作供試体における ρ と N の関係 (昭和53年度)

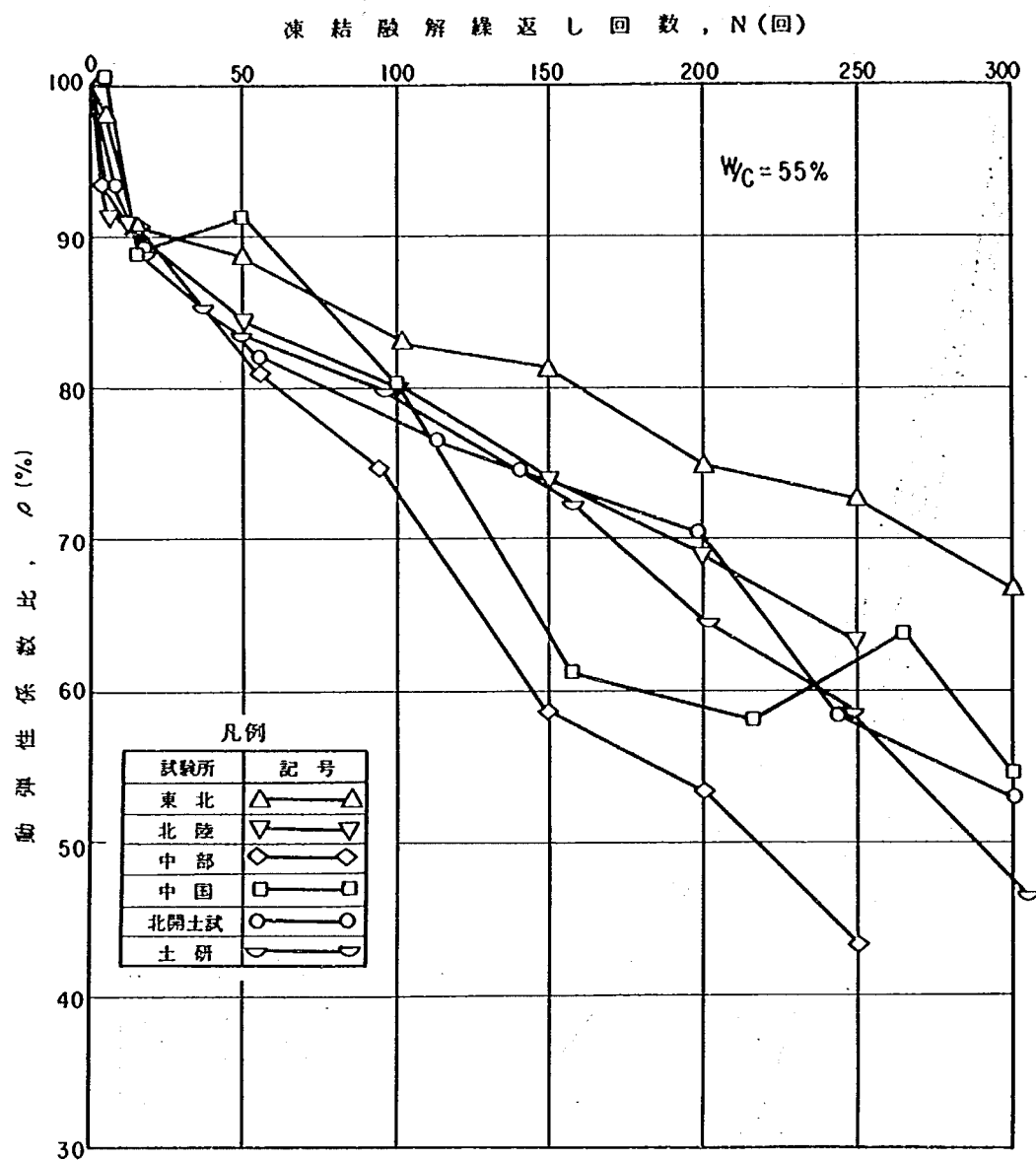


図-1.2(10) 〔北陸〕製作供試体における ρ と N の関係 (昭和53年度)

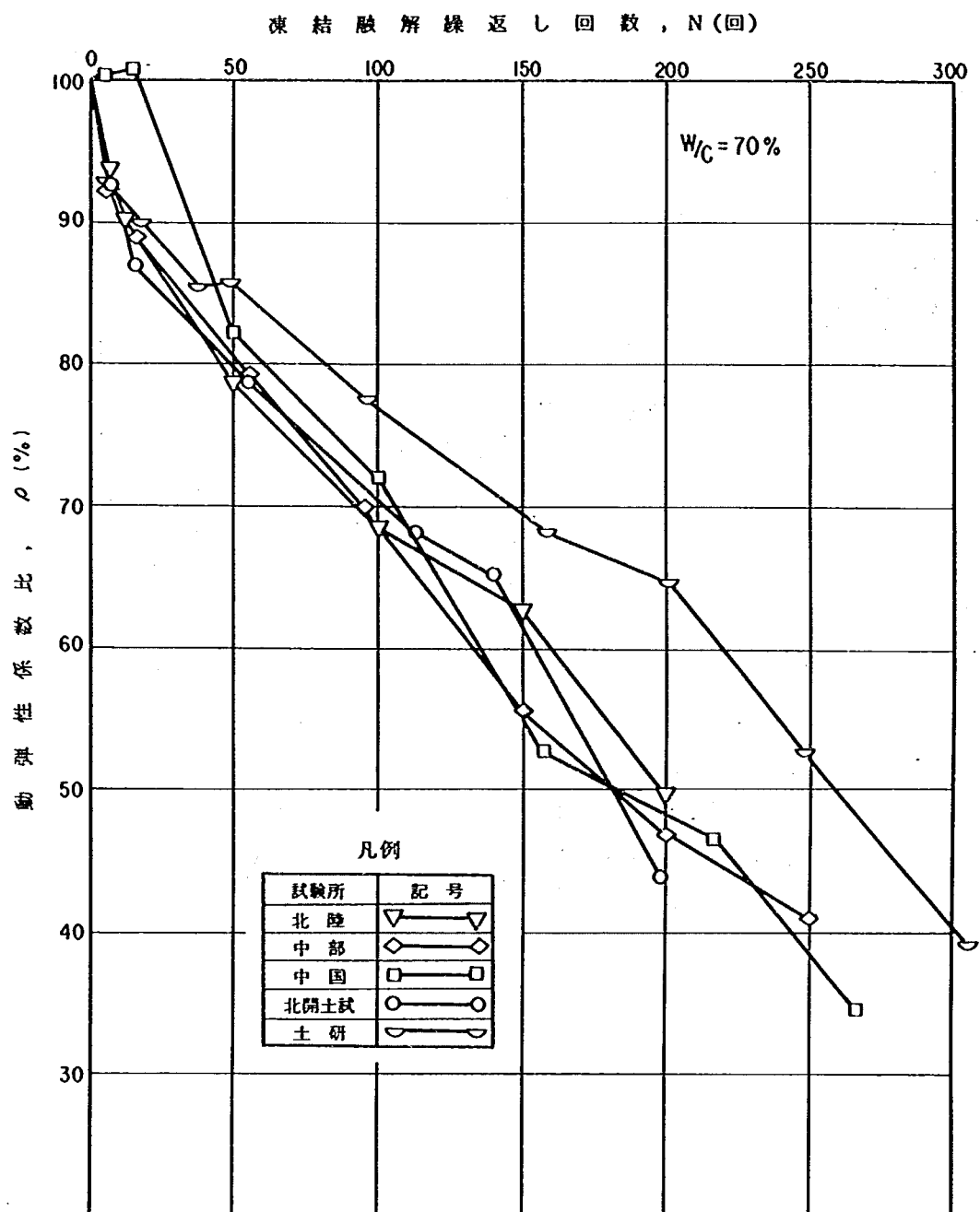


図-1.2 (a) 〔北陸〕製作供試体における ρ と N の関係 (昭和53年度)

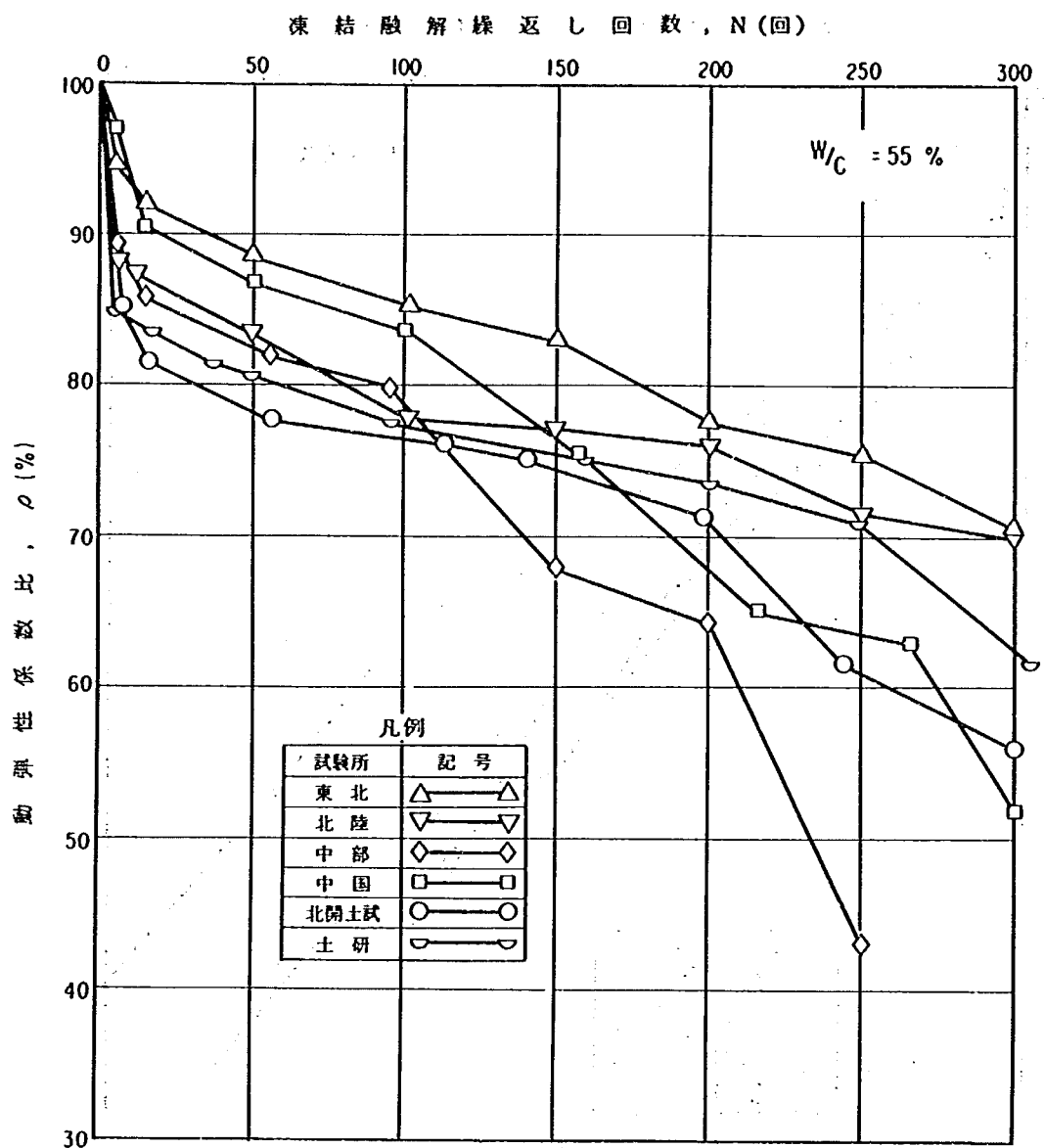


図 - 1.2 (a) 〔中国〕製作供試体における ρ と N との関係 (昭和53年度)

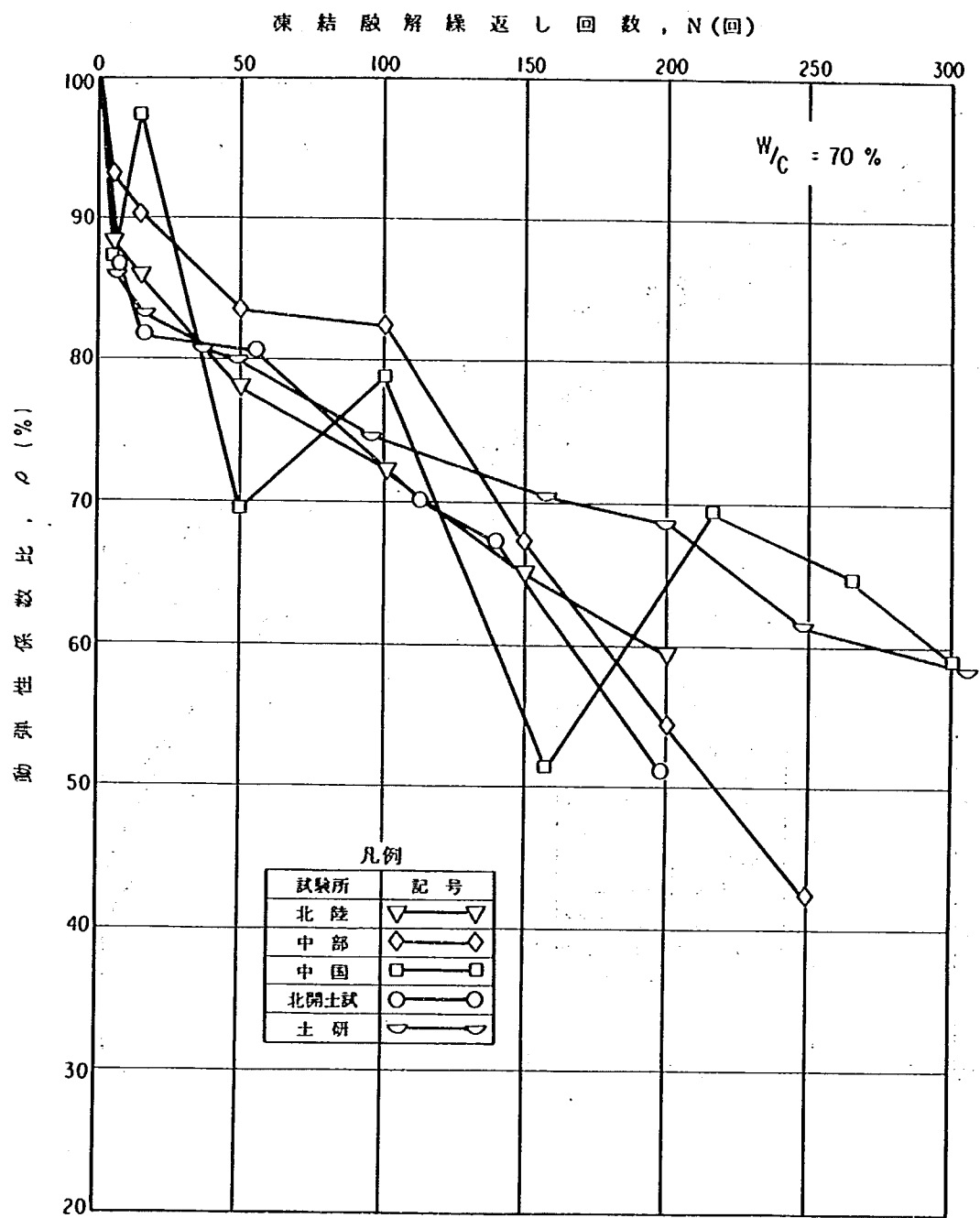


図-1.203 〔中国〕製作供試体における ρ と N との関係 (昭和53年度)

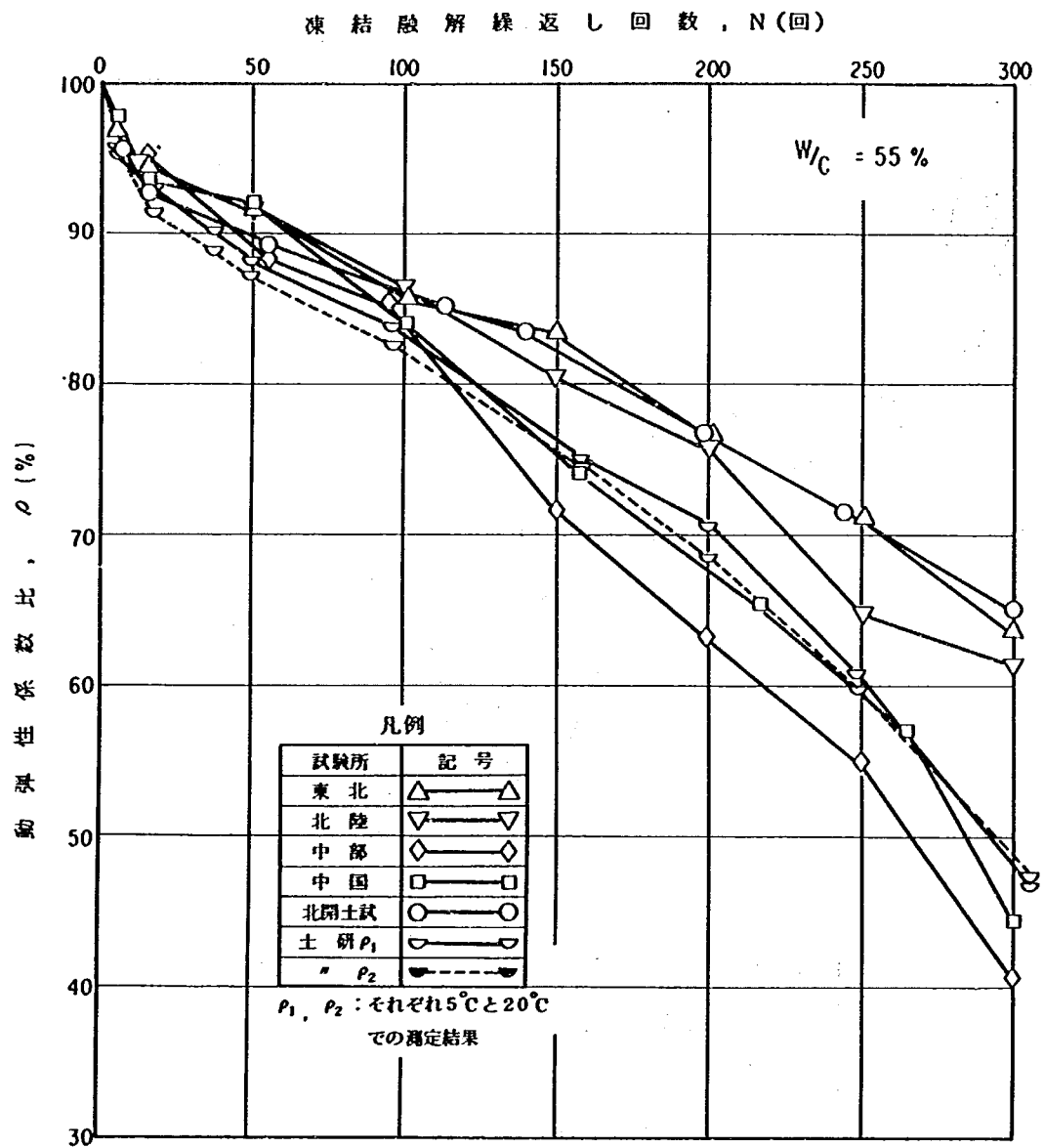


図 - 1.2 (4) [土研]製作供試体における ρ と N との関係 (昭和53年度)

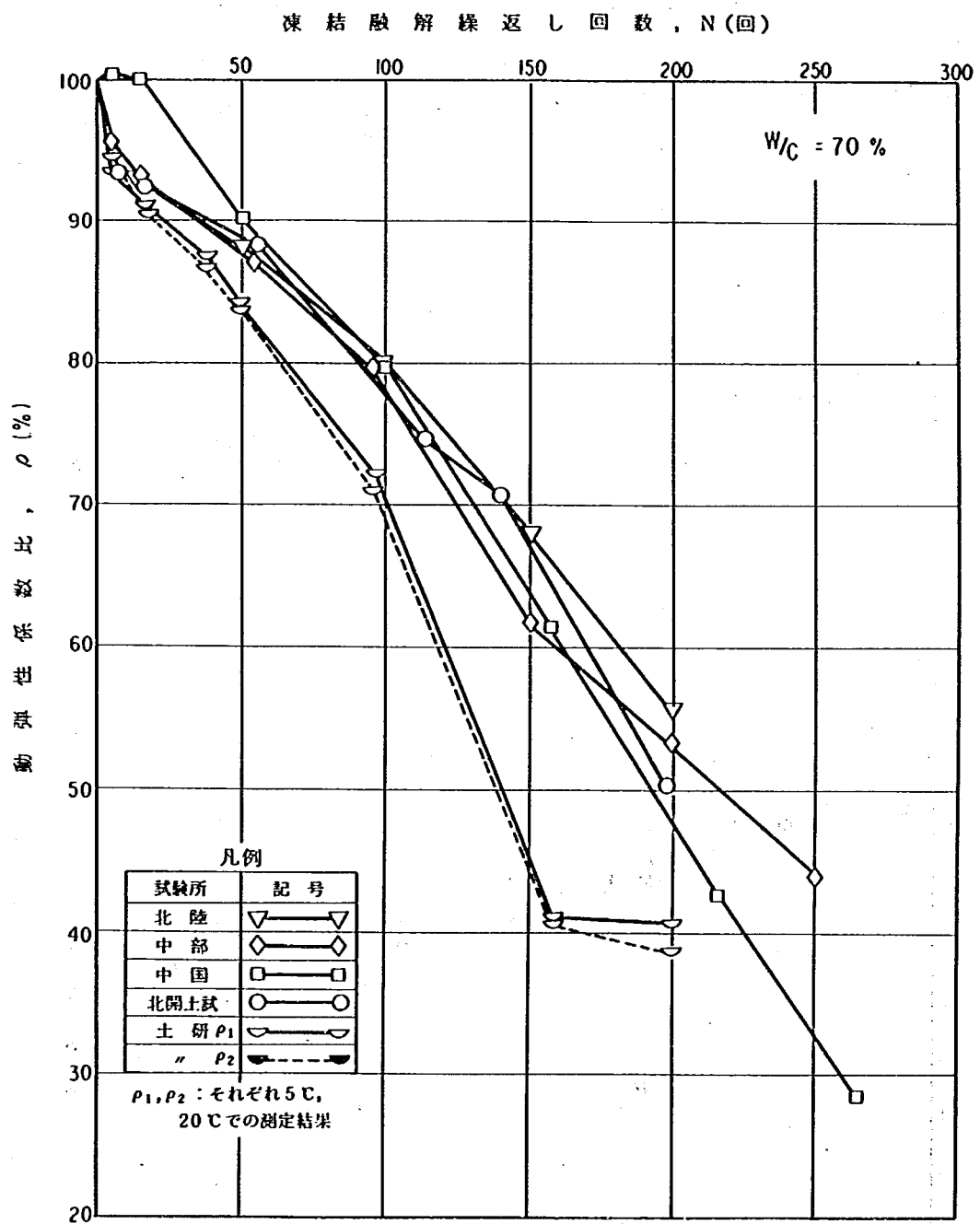


図-1.2(15) [土研]製作供試体における ρ と N との関係(昭和53年度)

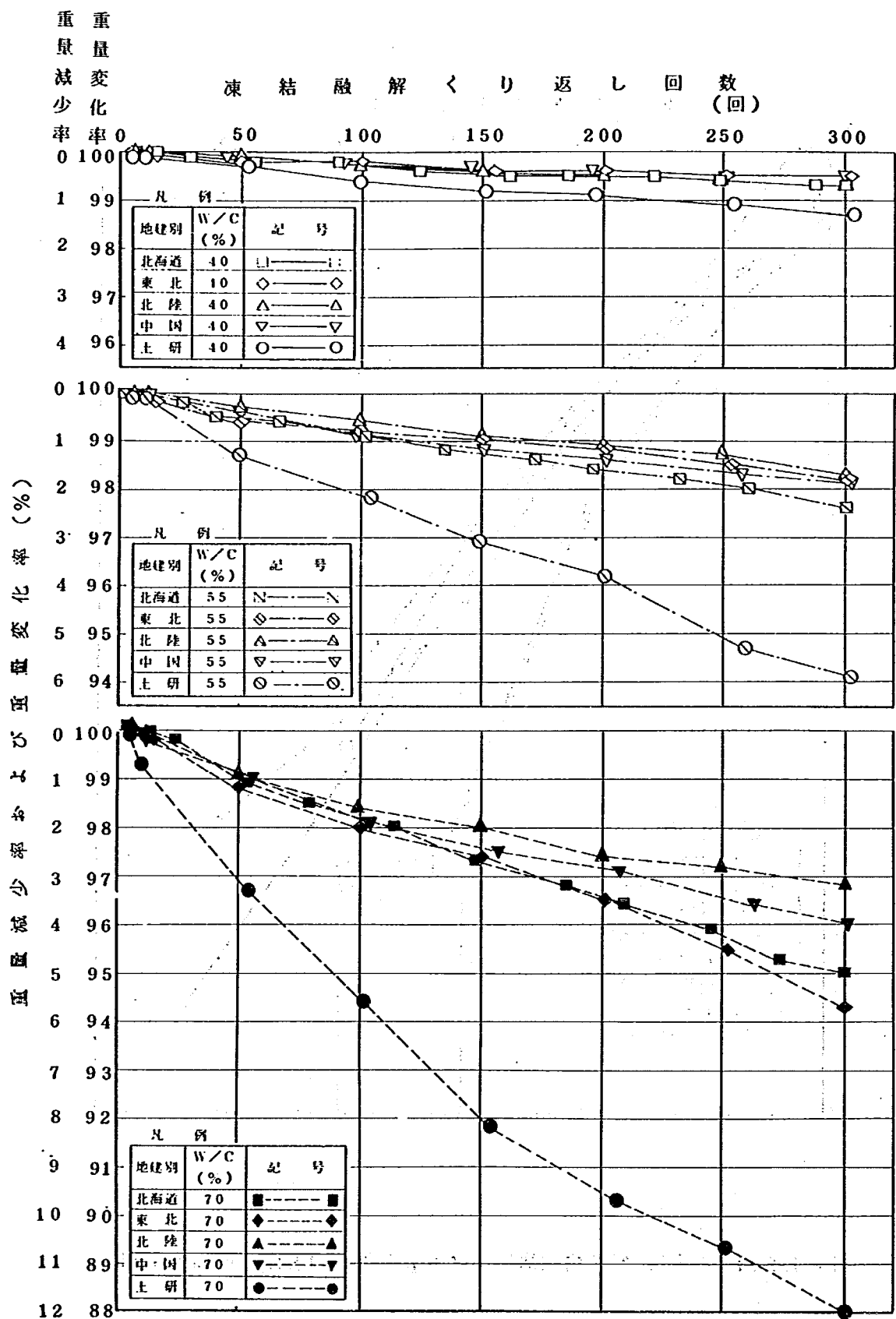


図-1.3 (1) 水セメント比別の凍結融解くり返し回数と重量変化率との関係
(昭和51年度)

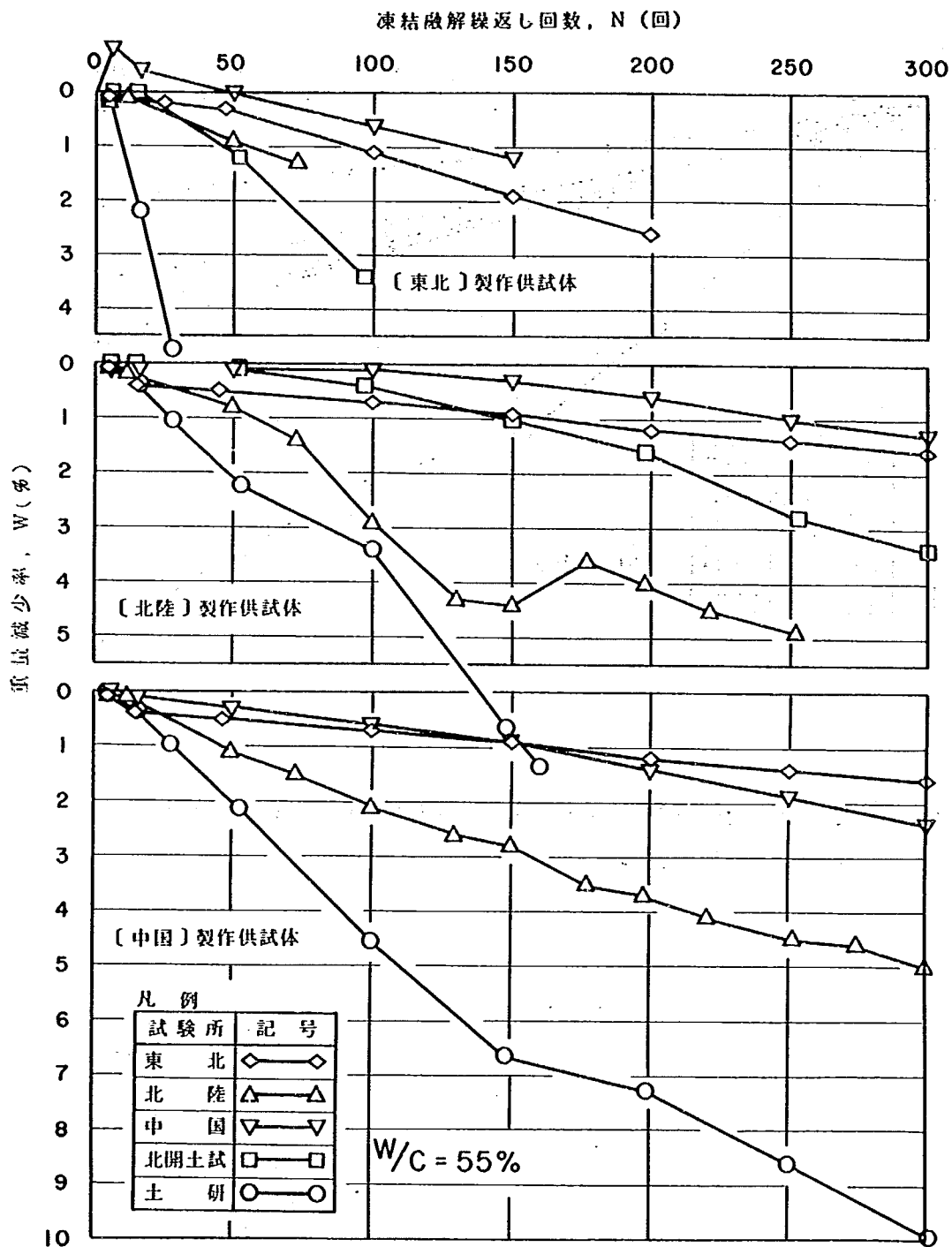


図-1.3(2) 〔東北・北陸・中国〕製作供試体における繰返し回数(N)と重量減少率(W)との関係(昭和52年度)

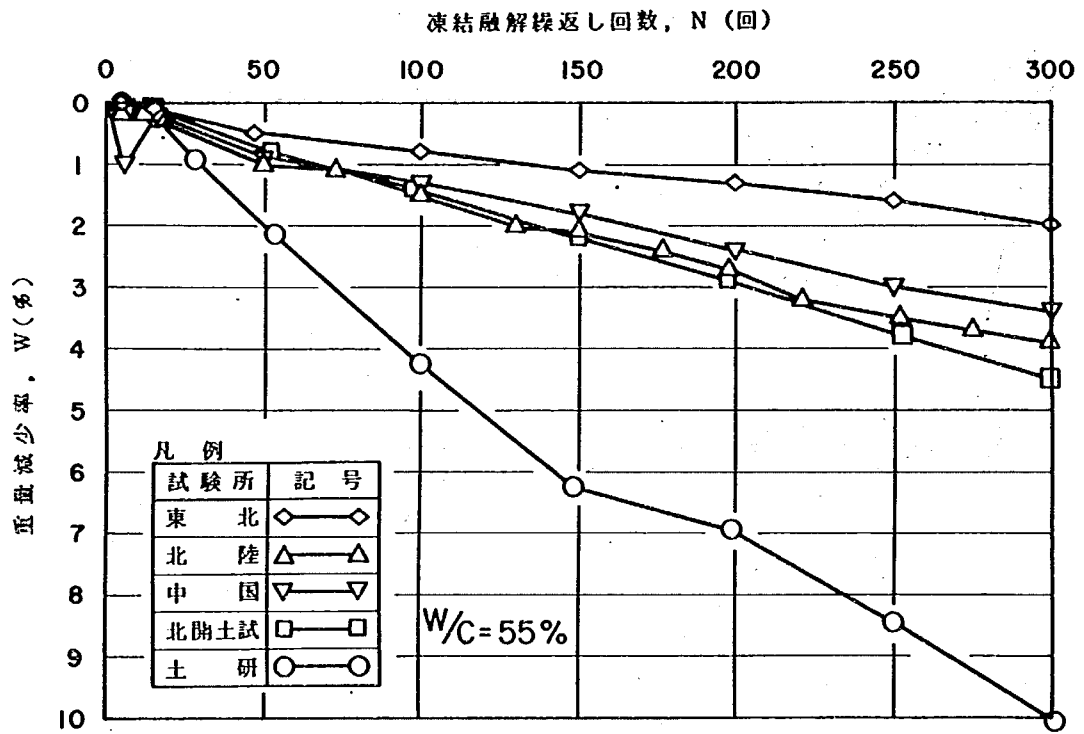


図-1.3 (3) 〔土研〕製作供試体における繰返し回数(N)と重量減少率(W)との関係
(昭和52年度)

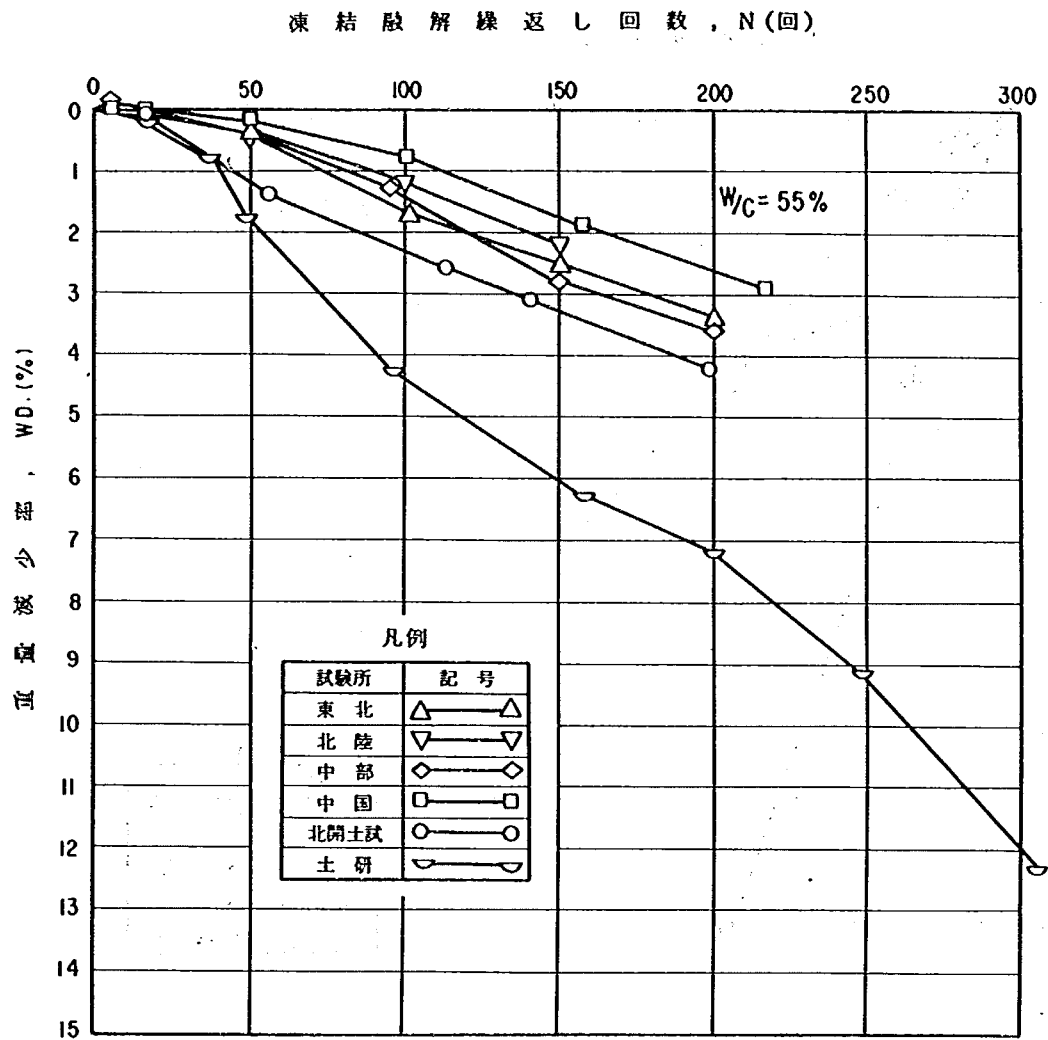


図-1.3(4) 〔東北〕製作供試体におけるWDとNとの関係(昭和53年度)

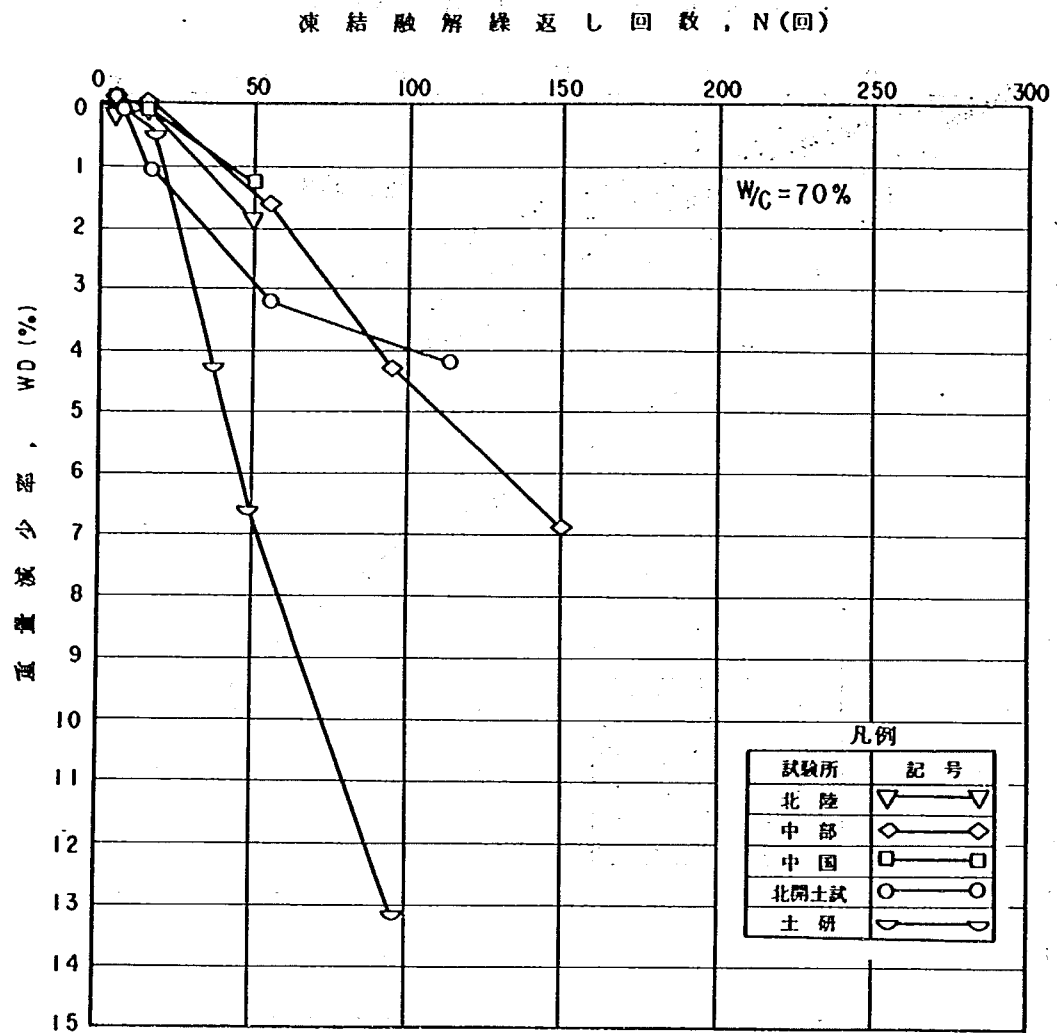


図 - 1.3 (5) 〔東北〕製作供試体におけるWDとNとの関係 (昭和53年度)

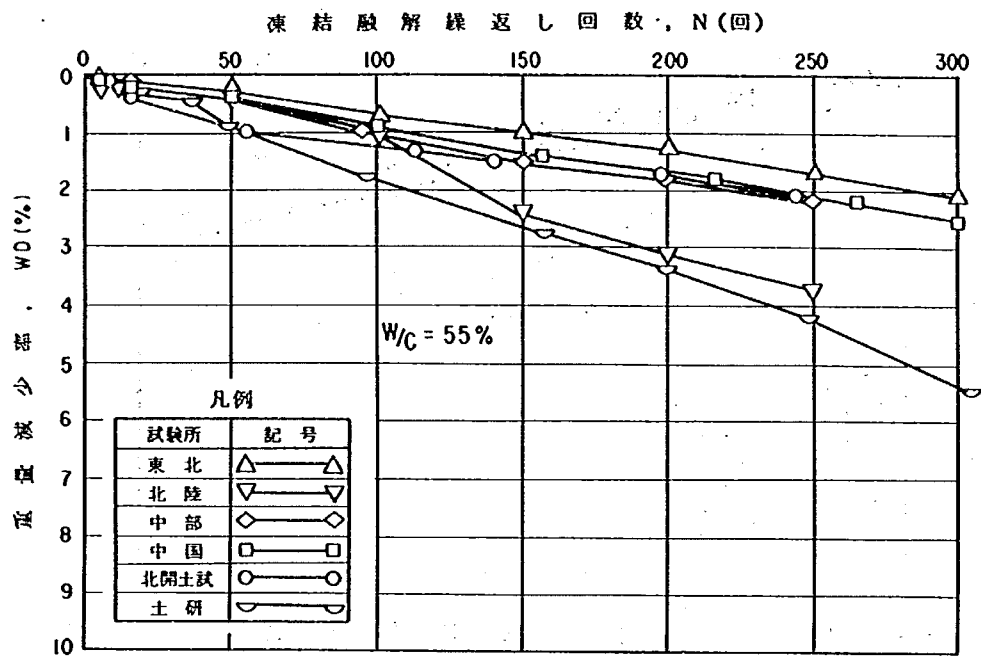


図-1.3(6) 〔東北〕製作供試体におけるWDとNとの関係(昭和53年度)

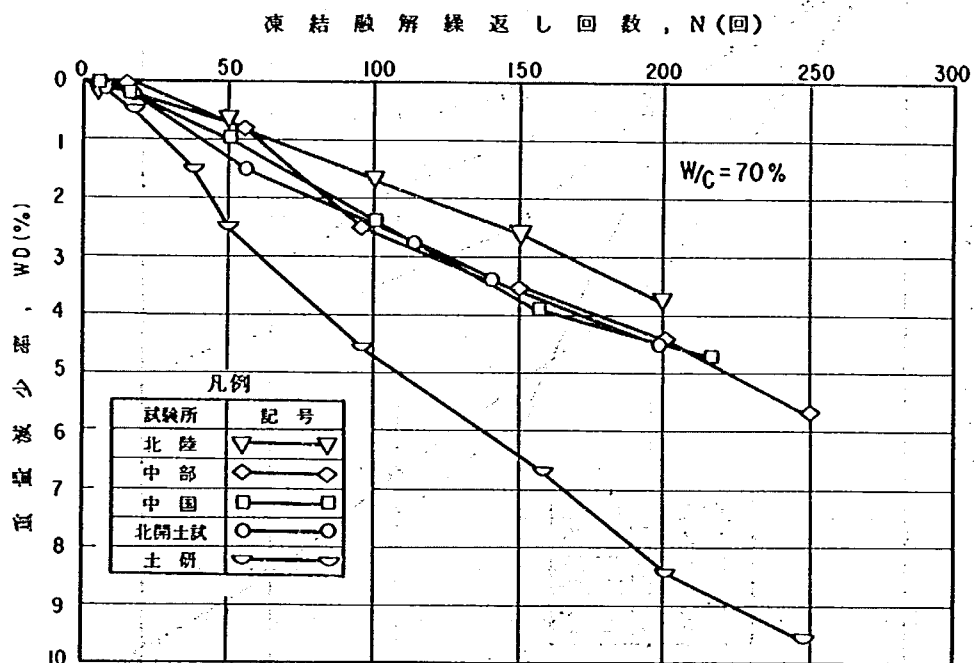


図-1.3(7) 〔北陸〕製作供試体におけるWDとNとの関係(昭和53年度)

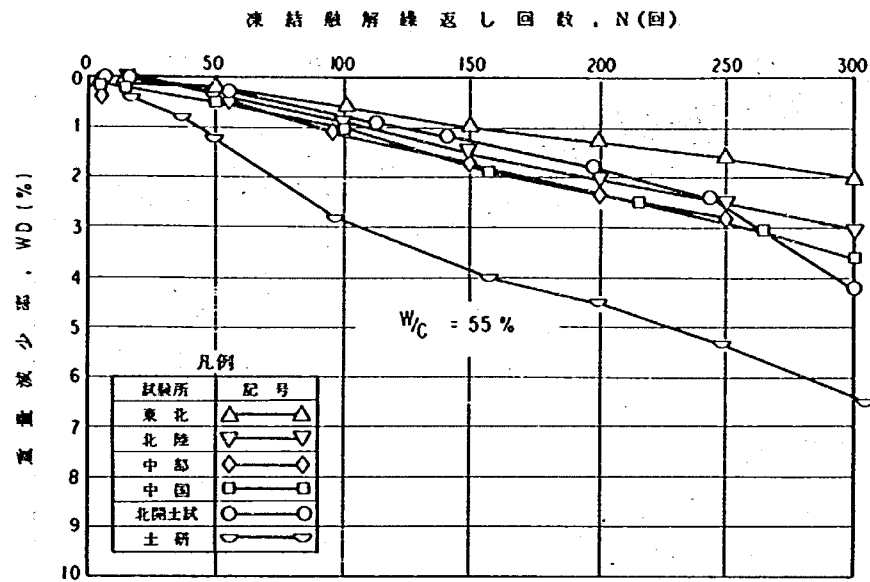


図-1.3(8) 〔中国〕製作供試体におけるWDとNとの関係(昭和53年度)

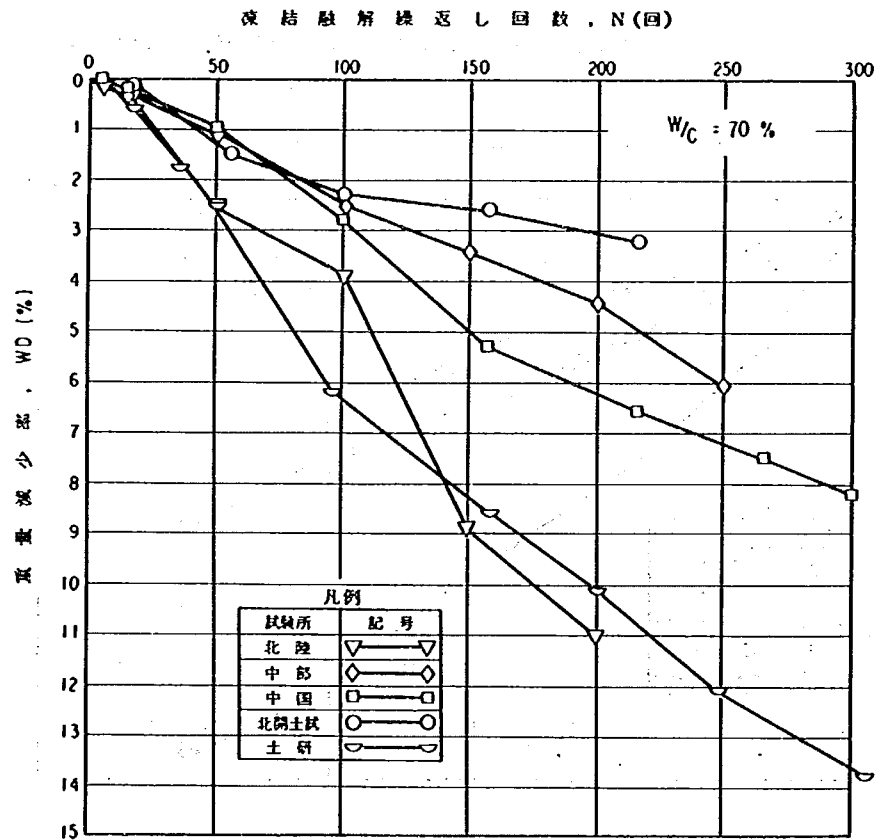


図-1.3(9) 〔中国〕製作供試体におけるWDとNとの関係(昭和53年度)

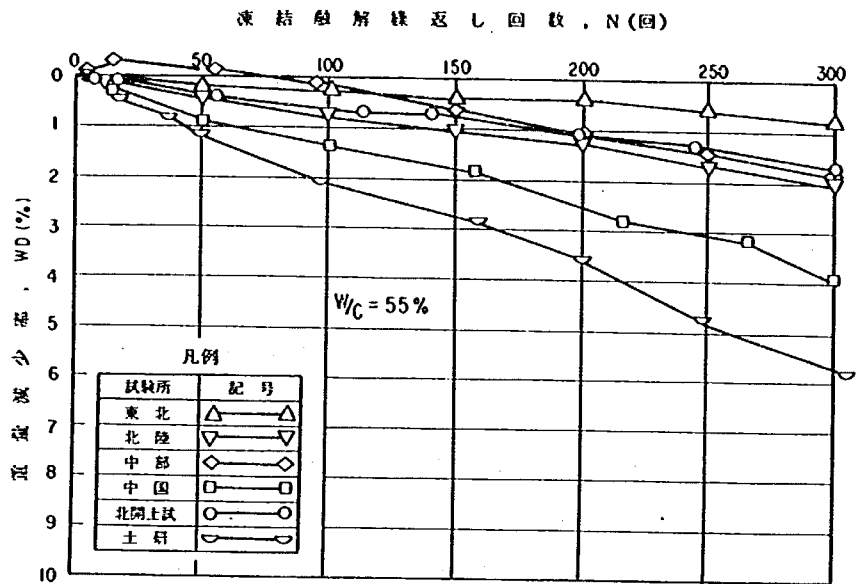


図-1.3 (a) 〔土研〕製作供試体におけるWDとNとの関係 (昭和53年度)

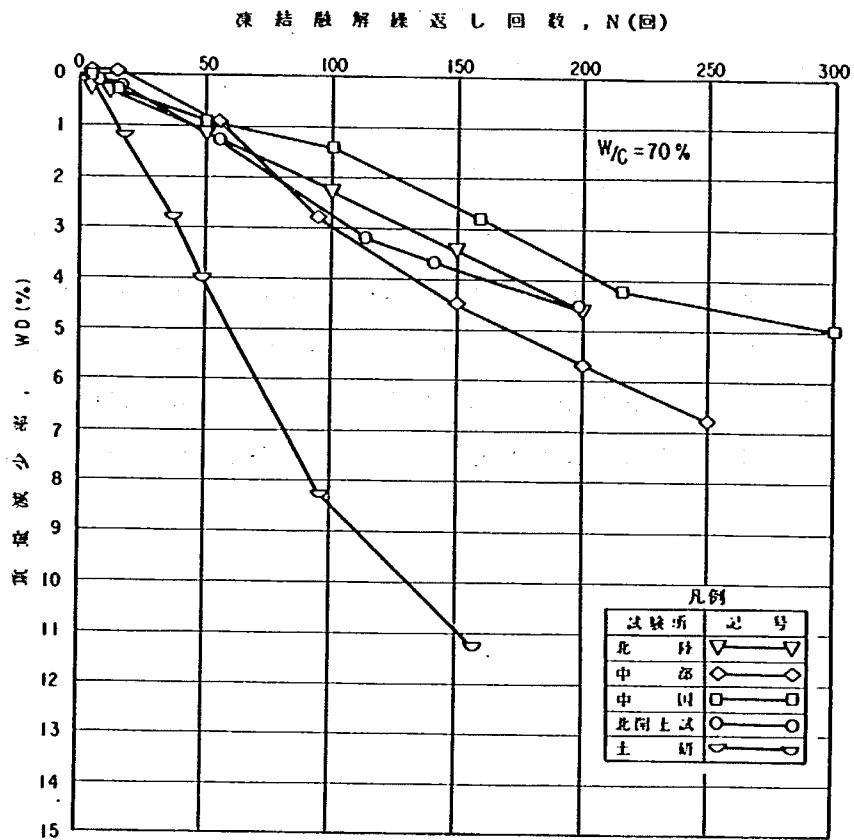


図-1.3 (b) 〔土研〕製作供試体におけるWDとNとの関係 (昭和53年度)

1.4 考 察

1.4.1 同一試験所内における供試体3本間の変動

図-1.4は、同一骨材、同一配合のコンクリートについて昭和51年～53年にかけて行なわれた凍結融解試験の結果（耐久性指数）を各年度ごとに整理したものである。図中の実線は、ASTM C 666⁴⁾で示される精度の限界（ 1σ ）を示しているが、各年度とも3本の供試体の試験値にバラツキの大きいものがあることがわかる。特に、結果の評価で問題となる耐久性指数50～70においてこの変動がたいへん大きい結果となっている。

1.4.2 試験所間の結果の変動

同一バッチの供試体について各試験所で同時共通試験を行った結果を供試体別に整理すると、図-1.5のようになる。同一バッチの供試体でも試験所間で結果に大きな差が認められる。これをまとめて試験結果の変動をみると図-1.6のようになり、耐久性を判定するうえ重要な意味を持つ耐久性指数50～70の範囲において、30～40の最大値と最小値の差となっている。すなわち、同じ品質においての骨材でも試験所によって異った結果の判定を行う危険がある。一方、凍結融解耐久性の良いもの（耐久性指数80程度以上）と悪いもの（30程度以下）では試験所間の試験値のバラツキは小さい結果となった。

また、各試験所の試験条件と試験結果の関係をみると、供試体の中心温度を同じくしても、ブライン温度の範囲（特に上限）が大きくなれば供試体の劣化（耐久性指数の低下）は大きいようである。

1.4.3 同一試験所における繰返し精度（再現性）

図-1.5のその(1)から(4)で同一材料、同一配合の供試体について2～3年間試験を繰返した場合の精度をみると、各年度において若干の試験条件の変動がある（表-1.7参照）ものの、それぞれの試験所でかなりのバラツキを示している。特に、図-1.5の(1)で各試験所別に3年間の結果をみると、最大26%の変動係数となっている。ただし、試験の再現性には試験機の要因だけでなく、コンクリートの空気量等も影響していることが考えられ、今後の調査が必要である。

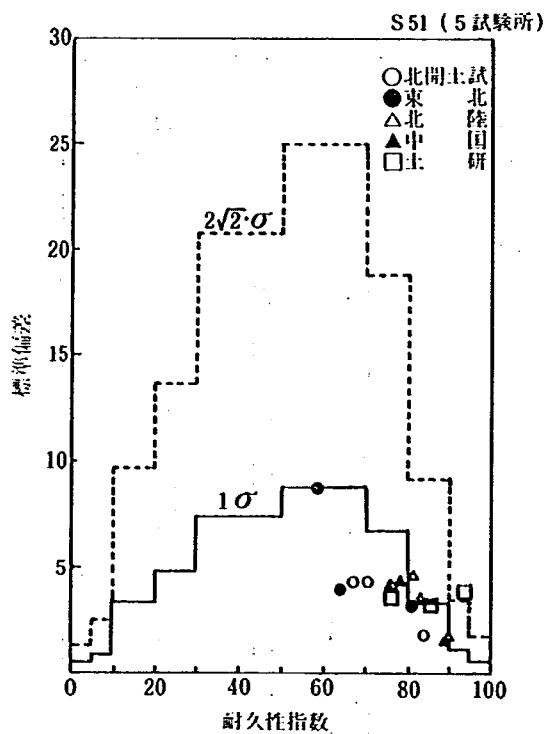


図-1.4 (1) 同一試験における結果の変動
(昭和51年度)

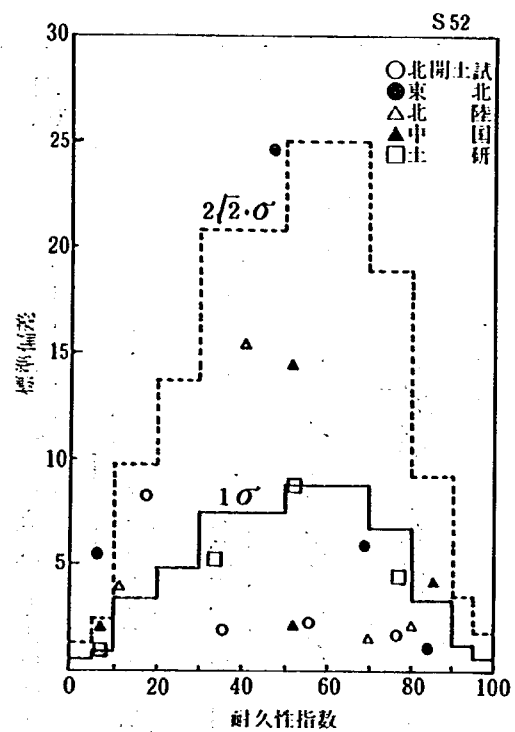


図-1.4 (2) 同一試験における結果の変動
(昭和52年度)

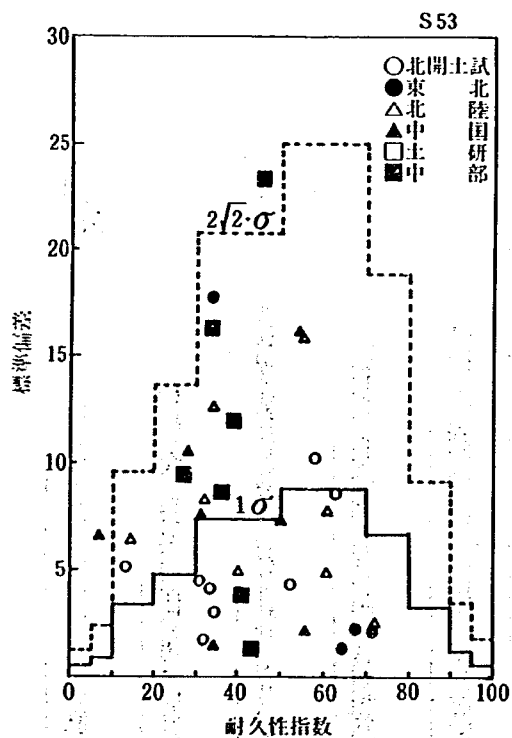


図-1.4 (3) 同一試験における結果の変動
(昭和53年度)

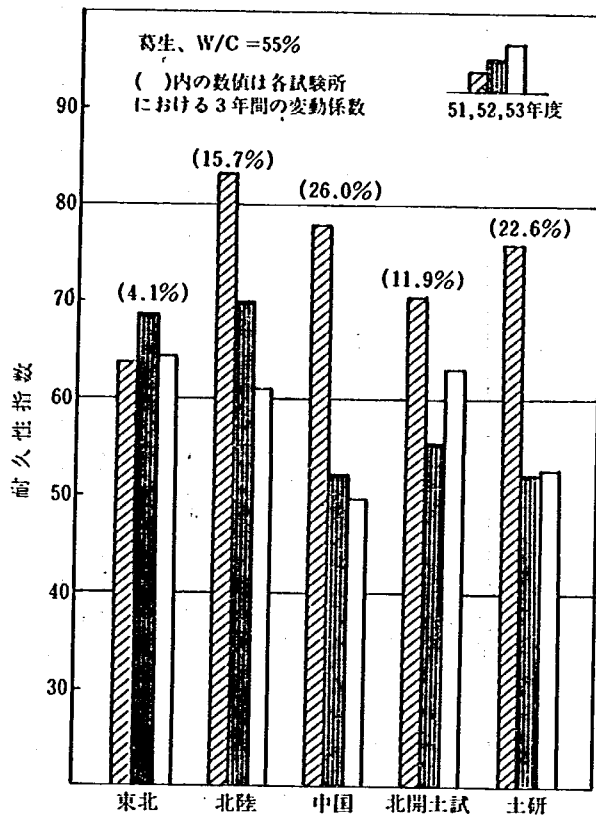
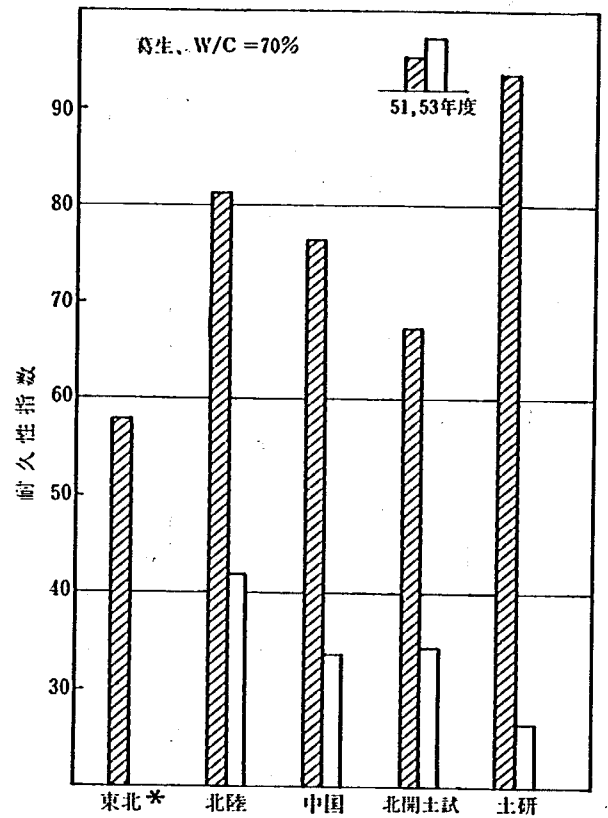


図 - 1.5 (1) 各試験所別耐久性指数の比較



* 53年度は試験せず

図 - 1.5 (2) 各試験所別耐久性指数の比較

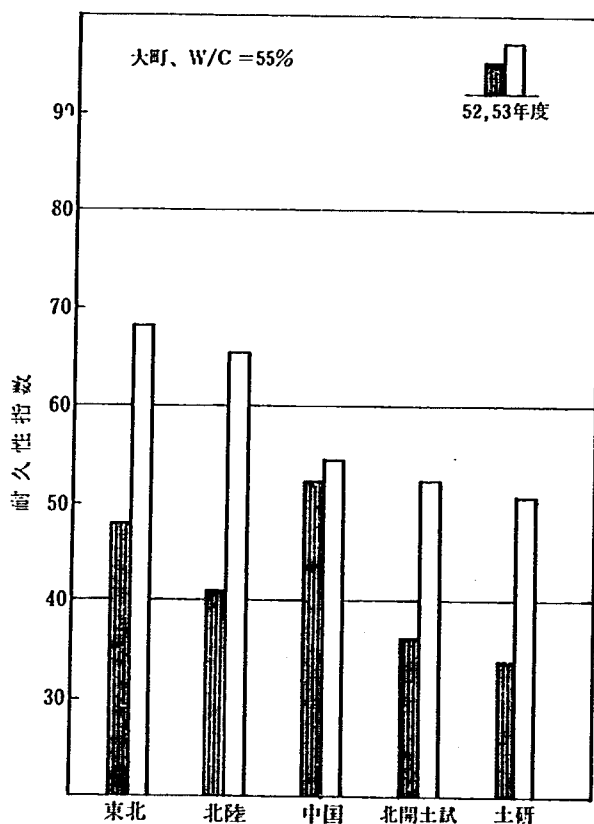


図 - 1.5 (3) 各試験所別耐久性指数の比較

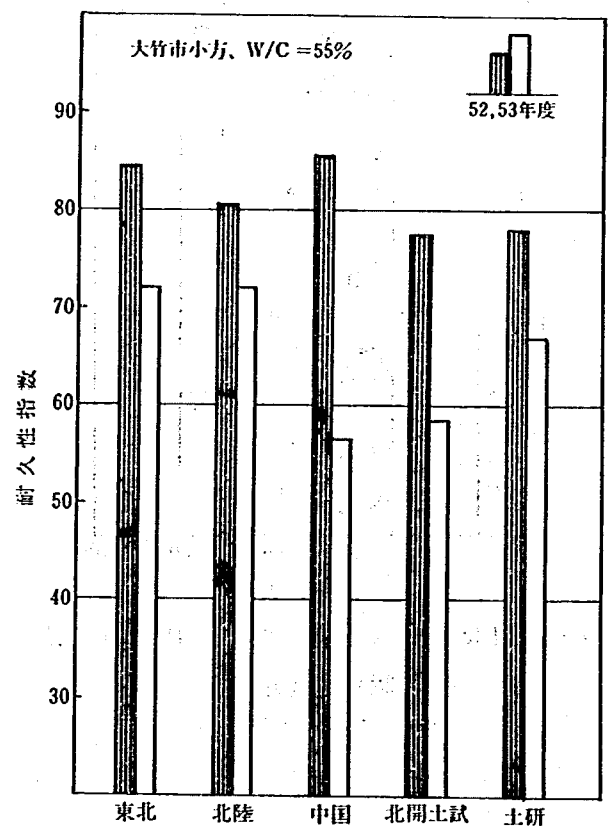


図 - 1.5 (4) 各試験所別耐久性指数の比較

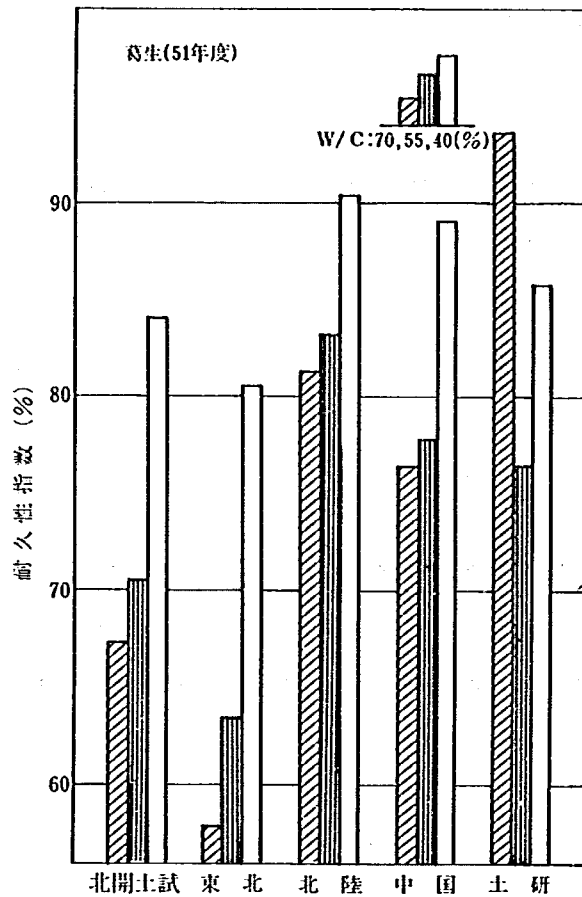


図-1.5(5) 各試験所別耐久性指数の比較

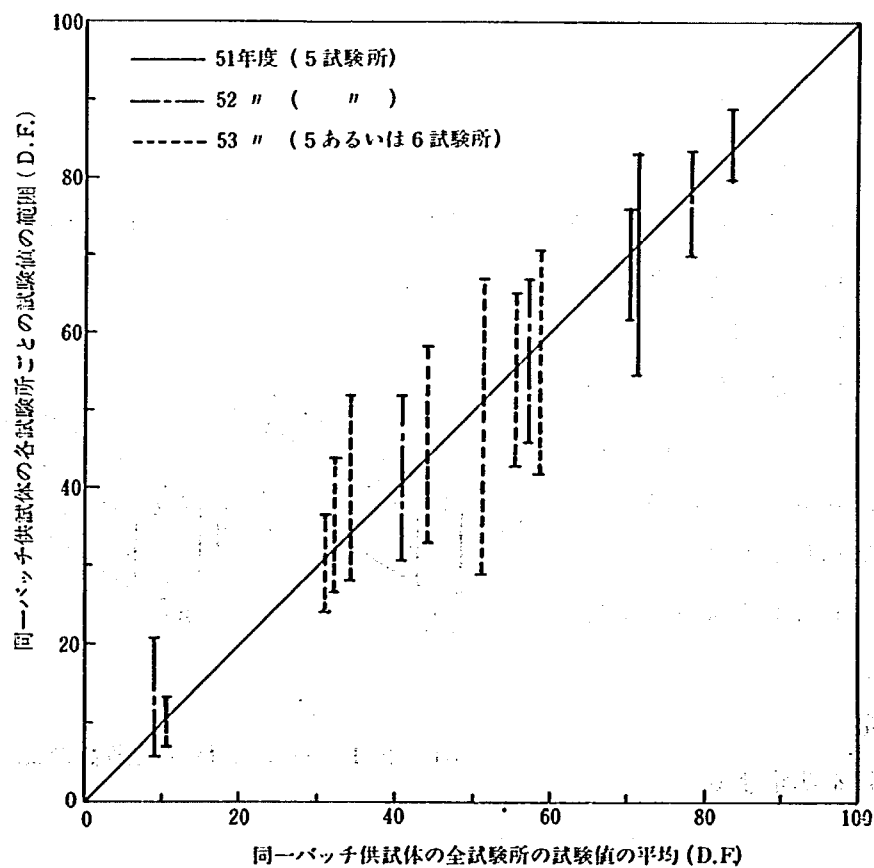


図-1.6 凍結融解試験結果と試験所間の変動

2. 動弾性係数測定器間の変動調査

2.1 調査目的

コンクリートの凍結融解試験において、劣化の指標として用いられている動弾性係数測定器の出力変動を把握するとともに、試験結果におよぼす影響についても明らかにすることを目的とする。

2.2 試験方法

(1) 供試体の種類

供試体は次の2種とする。

1) コンクリート供試体：動弾性係数が比較的大きいもので材令2年程度の供試体

($7.5 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 3本)

2) カーボン供試体：カーボン(炭素)製の緻密な供試体 ($10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ 1本)

(2) 測定方法

1) 供試体の調整

(1)の供試体は、各試験所へ送付し測定を行うが、コンクリート供試体は乾燥させることなく2日間 $20 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中に置き、カーボン供試体は、乾燥状態で試験室内に放置しておく。

2) 測定

(1)の供試体について、次の測定を行う。なお、コンクリート供試体は表乾状態でカーボン供試体は自然状態(乾燥状態)で測定を行う。

i) 一次たわみ振動数

測定は、JIS A 1127「共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数試験法」に準じて行う。各供試体の測定方向は図-2.1のとおりとする。測定は2回行うものとし、2回目の測定は供試体を一度、振動台から外した後に行う。なお、測定時の気温は $20 \pm 3^\circ\text{C}$ として、実施可能な試験所では気温約 5°C についても行う(各コンディションとも気温、湿度を明記する)。

ii) 重量

各供試体の重量を測定する。

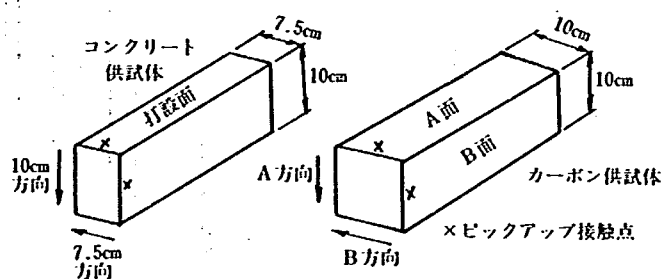


図-2.1 一次たわみ振動数の測定方向

iii) そ の 他

一次たわみ振動数の測定において、接触面が平面のピックアップを用いる場合には、グリスを塗布した場合と塗布しない場合について測定を行う。測定後は、供試体に付着したグリスをふきとっておく。

(3) 供試体の送付

所定の試験を終了の後、次の試験所に供試体を送付する。送付の順序は、次のとおりである。

1) 一次調査

土研→北海道→東北→北陸→関東→土研→中部→近畿→中国*→九州→土研

2) 二次調査

土研→四国→中国*→土研

(4) 測定器の概略仕様調査

次の仕様について調査する。

i) メーカー

ii) 購入年

iii) 写真(測定器本体、ピックアップ、振動台を1枚に収めたもの)

2.3 調 査 結 果

2.3.1 測定器の種類及び試験条件

試験は表-2.1に示すように10試験所の11台の測定器について行った。各試験所の試験条件は表-2.2のようである。

表-2.1 動弾性係数測定器の種類

試験所	メーカー	型 式	購入年
北海道	東京三和商工	SS-A型	54年
東北	マルイ製作所	MIN-1101型	46年
関東	東京三和商工	型	57年
北陸	堀江商会		49年
中部	東京三和商工	SS-A型	53年
近畿	マルイ製作所		55年
中国*	"		51年
四国	"	MIN-1101型	58年
九州	"	"	56年
土研	A	ST-3型	35年
	B	SS-A型	53年

注)*: 58年に振動台、ピックアップを交換

*) 中国は、一次調査で特異と思われるデータが得られたため、二次調査を行った。従って以下中国の二次調査のデータを採用して解析を行った。

表－2.2 試 験 条 件

試 験 所	試 験 条 件 (温度,湿度)			備 考
	約5℃	約20℃	約25℃	
北 海 道	4.5℃ 70%	20.0℃ 61%	25.5℃ 65%	三 和
東 北		22.0℃ 82%		マルイ(グリス有)
関 東		23℃ 40～45%		
北 陸	4.5℃ —	20.0℃ 70%		
中 部		19℃ 70%		
近 畿		19℃ 62%		マルイ(グリス有)
		19℃ 62%		マルイ(グリス無)
中 国		20.5℃ 86%		マルイ(ピン使用)*
		20.5℃ 86%		マルイ(ピン使用)**
四 国		22.5℃ 35.7%		マルイ(グリス有)
		22.5℃ 35.7%		マルイ(グリス無)
九 州		20℃ 73%		マルイ(ピン使用)
		20℃ 73%		マルイ(グリス有)
土 研	4.5℃ 64%	23℃, 19℃, 21℃, 19℃, 22℃ 83%, 54%, 26%, 80%, 90%		三 和 (A)
	4.5℃ 64%	23℃, 19℃, 21℃, 19℃, 22℃ 83%, 54%, 26%, 80%, 90%		三 和 (B)

*) 振動子にグリス塗布, ピックアップはピン使用

**) 振動子にグリス無し, ピックアップはピン使用

2.3.2 一次たわみ振動数の測定結果

表－2.2の試験条件で得られた温度約20℃(19℃～23℃)湿度26～90%の全データ(N=23)を表－2.3に示す(このデータは, ピックアップの条件については無視した結果である)。たわみ振動数の変動(バラツキ)は4.9%～0.9%範囲であった。

一方, 各試験所で通常行われている方法で測定した結果のみについて整理したものが表－2.4である。n=11の測定値の変動は1.2～2.6%であった。

表- 2.3 一次たわみ振動数の測定結果
(一次, 二次調査)

(n = 23) *

供 試 体			最 大 (Hz)	最 小 (Hz)	平 均 $\bar{x}$ (Hz)	標 準 偏 差 s (Hz) **	変 動 係 数 CV (%) ***
コン ク リ ー ト 供 試 体	1	縦	2.215	1.723 (2.110)	2.153 (2.173)	97.3 (26.3)	4.5 (1.2)
		横	1.810	1.698	1.731	27.9	1.6
	2	縦	2.218	1.706 (2.106)	2.162 (2.183)	106.0 (37.6)	4.9 (1.7)
		横	1.830	1.715	1.734	27.4	1.6
	3	縦	2.210	1.716 (2.110)	2.141 (2.161)	95.6 (23.9)	4.5 (1.1)
		横	1.831	1.716	1.741	31.2	1.8
カー ボ ン 供 試 体		縦	1.411	1.361	1.374	12.0	0.9
		横	1.500	1.372	1.400	25.8	1.8

注) * 試験条件 (表- 2 参照)
 ○ 温度約 20℃ (19℃ ~ 23℃)
 ○ 湿度 (26% ~ 90%)

$$** S = \sqrt{\sum (xi - \bar{x})^2 / (n - 1)}$$

$$*** CV = \frac{s}{\bar{x}} \times 100$$

表- 2.4 一次たわみ振動数の測定結果
(一次, 二次調査)

n = 11

供 試 体			最 大	最 小	平 均	標 準 偏 差	変 動 係 数
コン ク リ ー ト 供 試 体	1	縦	2,208	2,110	2,170	25.6	1.2
		横	1,810	1,698	1,733	38.8	2.2
	2	縦	2,218	2,109	2,177	28.9	1.3
		横	1,830	1,702	1,736	35.6	2.1
	3	縦	2,210	2,114	2,167	29.4	1.4
		横	1,820	1,716	1,742	34.6	2.0
カー ボ ン 供 試 体		縦	1,411	1,361	1,377	16.0	1.2
		横	1,500	1,372	1,407	36.5	2.6

注) 試 験 条 件
 北海道 (20℃, 61%) 中 国 (20.5℃, 86%, P.U. ペン, 発振器 グリス 塗布)
 東 北 (22℃, 82%, グリス 塗布) 四 国 (22.5℃, 35.7%)
 関 東 (23℃, 40 ~ 45%) 九 州 (20℃, 73%, グリス 塗布)
 北 陸 (20℃, 70%) 土 研 A (19℃, 54%)
 中 部 (19℃, 70%) " B (" ")
 近 畿 (19℃, 62%, グリス 塗布)

(i) 送付中におけるコンクリートの特性変化

今回対象としたコンクリートの供試体は何ら損傷を受けていないものである。供試体が常に安定した状態、管理された状態にするため、各試験所への送付の最初、中間、最後において土木研究所で測定を行った（表－2.5，2.6）。供試体の動弾性係数の増加が認められないことから、各試験所でほぼ同じ性状の供試体について測定し得たと考えられる。

表－2.5 一次たわみ振動数の変化

（土研 旧測定器）

供 試 体			測 定 値					平 均	標準偏差	変動係数
			1 回 目	2 回 目	3 回 目	4 回 目	5 回 目			
コン クリ ート 供 試 体	1	縦	2,168	2,165	2,173	2,176	2,175	2,171	4.7	0.2
		横	1,722	1,718	1,724	1,724	1,722	1,722	2.4	0.1
	2	縦	2,173	2,172	2,176	2,179	2,182	2,176	4.2	0.2
		横	1,724	1,722	1,726	1,725	1,727	1,725	1.9	0.1
	3	縦	2,161	2,153	2,159	2,161	2,167	2,160	5.0	0.2
		横	1,730	1,725	1,727	1,728	1,734	1,729	3.4	0.2
カー ボン 供 試 体		縦	1,370	1,369	1,367	1,370	1,369	1,369	1.2	0.1
		横	1,392	1,393	1,391	1,394	1,394	1,393	1.3	0.1

表－2.6 一次たわみ振動数の変化

（土研 新測定器）

供 試 体			測 定 値					平 均	標準偏差	変動係数
			1 回 目	2 回 目	3 回 目	4 回 目	5 回 目			
コン クリ ート 供 試 体	1	縦	2,207	2,195	2,206	2,208	2,169	2,197	16.5	0.8
		横	1,721	1,718	1,738	1,727	1,727	1,726	7.7	0.4
	2	縦	2,209	2,196	2,208	2,209	2,211	2,207	6.0	0.3
		横	1,722	1,729	1,742	1,728	1,731	1,730	7.3	0.4
	3	縦	2,150	2,200	2,147	2,160	2,164	2,164	21.2	1.0
		横	1,729	1,726	1,728	1,735	1,743	1,732	6.9	0.4
カーボン 供 試 体		縦	1,371	1,371	1,374	1,367	1,366	1,370	3.3	0.2
		横	1,394	1,394	1,403	1,396	1,397	1,397	3.7	0.3

(2) 多数回測定による測定器の精度

2 台の測定器（土研 A，B）について，各供試体を 15 回連続して測定した結果を表 - 2.7，2.8 に示す。測定器 B で幾分大きい変動を示しているものもあるが，それ以外は変動係数 0.3 % 以下となっている。従って，測定器等の条件が同一であれば供試体の種数（測定出力レベル）にかかわらず，かなり高い精度で測定が可能である。

表 - 2.7 同一測定器の測定精度

測定器 A

供 試 体			最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数
A	1	縦	2.176	2.166	2.172	2.4	0.1
		横	1.727	1.718	1.723	3.3	0.2
	2	縦	2.188	2.174	2.182	3.6	0.2
		横	1.736	1.715	1.724	5.2	0.3
	3	縦	2.170	2.158	2.163	3.7	0.2
		横	1.734	1.722	1.728	3.8	0.2
B	1	縦	1.795	1.783	1.791	3.0	0.2
		横	1.467	1.447	1.455	4.4	0.3
C		縦	1.371	1.366	1.368	1.4	0.1

表 - 2.8 同一測定器の測定精度

測定器 B

供 試 体			最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数
A	1	縦	2.214	2.161	2.170	17.9	0.8
		横	1.729	1.721	1.725	2.4	0.1
	2	縦	2.214	2.192	2.208	5.9	0.3
		横	1.728	1.719	1.724	2.5	0.1
	3	縦	2.162	2.155	2.158	1.8	0.1
		横	1.736	1.728	1.730	2.7	0.2
B	1	縦	1.793	1.784	1.789	3.0	0.2
		横	1.452	1.441	1.448	3.4	0.2
C		縦	1.369	1.361	1.366	2.2	0.2

(3) 測定器別の測定値の変動

同一供試体（試料）について同一方法で試験を行った場合，同じ日に同一人物が同一の測定器で試験を繰返した場合のバラツキ（この時の精度を繰返し精度という）と，日，人物，測定器の違いのもので試験を行った場合のバラツキ（この時の精度を再現精度という）では，後者の方が大きいバラツキを示すのが普通である。前者については，(2)ですでに述べてある。ここでは，測定器の違い（測定器の違い＋人物の違い＋日）について述べる。

表－2.9に，表－2.3のもととなっているデータ及び測定器（試験所）別に平均値に対する比率を計算したものを示す。表中には，95%の信頼区間から外れるものも合せて記してある（上限値から外れる数値＊，下限から外れる数値＊＊）。これによれば，平均値に対して大きく或いは少さく測定する傾向にある測定器（試験所）が幾つか見られる。

表－2.9 各試験所における一次たわみ振動数の測定値及び平均値に対する百分率(%)
(一次，二次調査)

(約20℃，n=11)

供 試 体			北海道	東 北	関 東	北 陸	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州	土 研		平 均	95%の 信頼区間
												A (旧)	B (新)	(Hz)	
コン ク リ ー ト 供 試 体	1	縦	2190* (101)	2170 (100)	2208* (102)	2166 (100)	2175 (100)	2149** (99.0)	2171 (100)	2170 (100)	2110** (97.2)	2165 (99.8)	2195* (101)	2170	2153～ 2187
		横	1810* (104)	1725 (99.5)	1737 (100)	1780 (99.2)	1717 (99.1)	1698 (98.0)	1717 (99.1)	1808* (104)	1700** (98.1)	1718 (99.1)	1718 (99.1)	1733	1711～ 1765
	2	縦	2210* (102)	2175 (99.9)	2218* (102)	2155** (99.0)	2176 (100)	2178 (100)	2173 (99.8)	2184 (100)	2109** (96.9)	2172 (99.8)	2196 (101)	2177	2158～ 2196
		横	1830* (105)	1725 (99.4)	1743 (100)	1728 (99.5)	1718 (99.0)	1702** (98.0)	1719 (99.0)	1770* (102)	1715 (98.8)	1722 (99.2)	1729 (99.6)	1736	1713～ 1760
	3	縦	2210* (102)	2165 (99.9)	2201* (102)	2147 (99.1)	2163 (99.8)	2142** (98.8)	2154 (99.4)	2185 (101)	2114** (97.6)	2153 (99.4)	2200* (102)	2167	2147～ 2186
		横	1820* (104)	1730 (99.3)	1740 (99.9)	1729 (99.3)	1719 (98.7)	1727 (99.1)	1730 (99.3)	1801* (103)	1716** (98.5)	1725 (99.0)	1726 (99.0)	1742	1719～ 1765
カーボン 供 試 体		縦	1400* (102)	1375 (99.9)	1411* (102)	1386 (101)	1371 (99.6)	1365* (99.1)	1361** (98.8)	1375 (99.9)	1361** (98.8)	1370 (99.5)	1371 (99.6)	1377	1366～ 1387
		横	1500* (107)	1415 (101)	1446* (103)	1405 (99.9)	1392 (98.9)	1372** (97.5)	1388 (99.0)	1387 (98.6)	1385 (98.4)	1392 (98.9)	1394 (99.1)	1407	1382～ 1431
平 均 (%)			103	99.9	101	99.6	99.4	98.7	99.3	101	98.0	99.3	100		

(4) 各測定値の2乗の比の変動

凍結融解試験では，一次たわみ振動数の2乗の比で結果を評価するので，2乗の比の変動も明らかにしておく必要がある。

表－2.10に任意の組合せによる測定値の2乗の比を表－2.11にこれらの2乗の比の統計量

を示した。表-2.12には測定器（試験所）ごとの平均値に対する百分率を示している。

表-2.10の2乗の比を凍結融解試験における耐久性指数を見做すと項目1～3.5とDF÷60～70に相当し、項目4はDF÷40に相当する。項目1～3.5では最大最小で10程度の差を生じており、実際の凍結融解試験でも測定器の種類によってこの程度の差を生ずる可能性があると考えられる。

表-2.10 各測定値の2乗の比（百分率）
（一次，二次調査）

（n=11）

項 目	北海道	東 北	関 東	北 陸	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州	土 研	
										A(旧)	B(新)
1 A-1(横/縦) ²	68.3	63.2	61.9	63.1	62.3	62.4	62.5	69.4	64.9	63.0	61.3
2 A-2(") ²	68.6	62.9	61.8	64.3	62.3	61.1	62.6	65.7	66.1	62.9	62.0
3 A-3(") ²	67.8	63.9	62.5	64.9	63.2	65.0	64.5	67.9	65.9	64.2	61.6
4 (C縦/A-1縦) ²	40.9	40.2	40.8	40.9	39.7	40.3	39.3	40.2	41.6	40.0	39.0
5 (C横/A-1横) ²	68.7	67.3	69.3	66.7	65.7	65.3	65.3	58.9	66.4	65.6	65.8

表-2.11 2乗の比のまとめ
（一次，二次調査）

（n=11）

項目	最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数
1	69.4	61.3	63.8	2.6	4.1
2	68.9	61.1	63.7	2.3	3.6
3	67.9	61.6	64.7	2.0	3.1
4	41.6	39.0	40.3	0.8	1.9
5	69.3	61.7	65.9	2.7	4.1

表-2.12 2乗の比の平均値に対する百分率（%）
（一次，二次調査）

（n=11）

項目	北海道	東 北	関 東	北 陸	中 部	近 畿	中 国	四 国	九 州	土 研	
										A(旧)	B(新)
1	107.1	99.1	97.0	98.9	97.6	97.8	98.0	108.8	101.7	98.7	96.1
2	107.7	98.7	97.0	100.9	97.8	95.9	98.3	103.1	103.8	98.7	97.3
3	104.8	98.8	96.6	100.3	97.7	100.5	99.7	104.9	101.9	99.2	95.2
4	101.5	99.8	101.2	101.5	98.5	100	97.5	99.8	103.2	99.3	96.8
5	104.2	102.1	105.2	101.2	99.7	99.1	98.6	89.4	100.8	99.5	99.8
平均	105.1	99.7	99.4	100.6	98.3	98.8	98.4	101.2	102.3	99.1	97.0

(5) 温度の影響

表-2.13に、5℃と20℃の室温で測定したたわみ振動数の比を示す。これより、5℃～20℃の範囲では動弾性係数測定における温度の影響はないと云える。

表-2.13 温度の影響

供 試 体			北 海 道	北 陸	土 研	
					A	B
A		縦	100.0	99.6	100.1	98.2
		横	98.9	99.9	99.9	99.3
	2	縦	100.5	100.0	100.1	98.5
		横	98.9	99.9	100.2	99.6
	3	縦	99.5	99.9	100.1	100.7
		横	99.5	99.8	100.6	100.7
C		縦	101.4	100.0	99.8	100.7
		横	100.0	99.6	99.9	99.6
平 均			99.7	99.9	100.0	99.9

注) 表中の数値は

$$\frac{(\text{5℃におけるたわみ振動数})}{(\text{20℃におけるたわみ振動数})} \times 100 (\%)$$

(6) グリス塗布の影響

表-2.14にピックアップのコンクリート接触面にグリスを塗布した場合としない場合のたわみ振動数の比を示す。グリスを塗布しなくとも、塗布した場合と同様の測定値が得られる場合もあるが、近畿では塗布した場合と塗布しない場合のちがいは大である(3ケース)。

また、九州の例では、ピックアップにグリスを塗布する場合とピン使用の場合で測定値に大きな差は認められない。

表－2.14 グリス塗布の影響

供 試 体			近 畿	九 州	四 国
A	1	縦	80.2	100.5	102.1
		横	102.2	100.9	97.7
	2	縦	78.3	100.0	99.1
		横	101.1	100.4	100.8
	3	縦	80.1	99.8	99.1
		横	100.5	100.4	101.7
C		縦	101.0	99.9	
		横	102.2	99.6	

注) 表中の値は

$$\begin{array}{l} \text{近畿} : \frac{(\text{グリス塗布無のたわみ振動数})}{(\text{グリス塗布のたわみ振動数})} \times 100 (\%) \\ \text{四国} : \end{array}$$

$$\begin{array}{l} \text{九州} : \frac{(\text{ピン使用のたわみ振動数})}{(\text{グリス塗布のたわみ振動数})} \times 100 (\%) \end{array}$$

2.3.3 重量の測定結果

重量の測定結果を表－2.15に示す。重量の測定は一次たわみ振動数の測定と異なり、かなり高い精度で行い得ることがわかる。

表－2.15 重量の測定結果

(n = 10)

供 試 体		最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数	備 考
A	1	7,114	7,088	7,098	8.1	0.1	
	2	7,138	7,113	7,122	7.8	0.1	
	3	7,110	7,084	7,095	7.7	0.1	
C		7,259	7,233	7,246	6.9	0.1	(n = 9)

2.3.4 測定値の較正

動弾性係数測定器間の変動については2.3章に述べたとうりであるが、この変動を小さくする方法について考察する。

測定器によって測定値のカタヨリがあることから、全測定器の測定値の平均と各測定器ごとの測定値との1次回帰式を求め、これを較正式とする(図-2.2)。

この較正式を用いて各測定値を修正したものが表-2.16である。また、修正たわみ振動数の2乗の比を表-2.17に示した。この較正式の利用によってたわみ振動数の変動係数は約 $\frac{1}{2}$ となり、また、たわみ振動数の2乗の比も耐久性指数60~70の範囲で、最大と最小の差が5程度となり、変動係数も3~4割程度小さくできる。

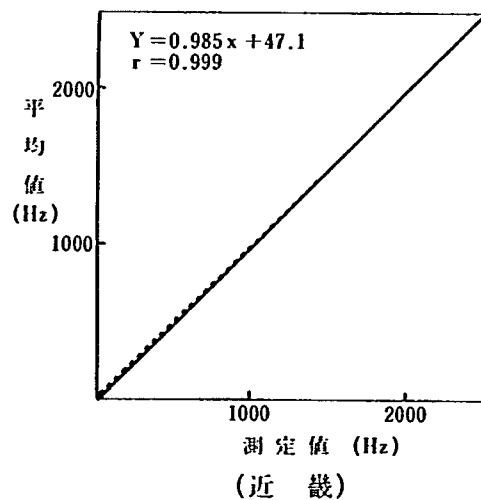
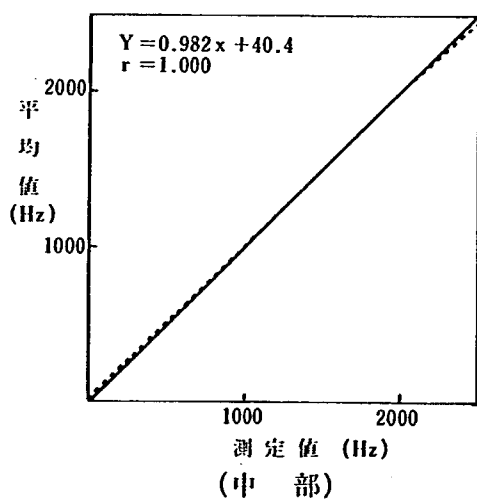
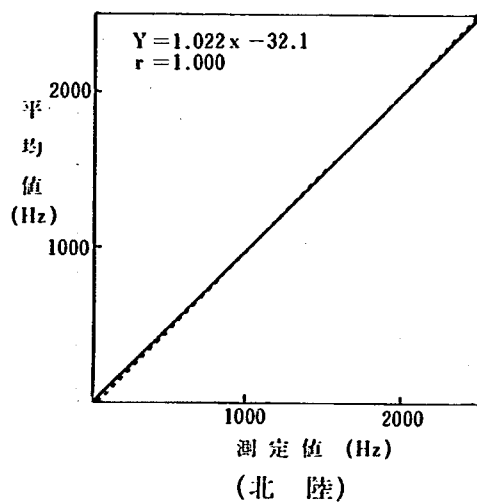
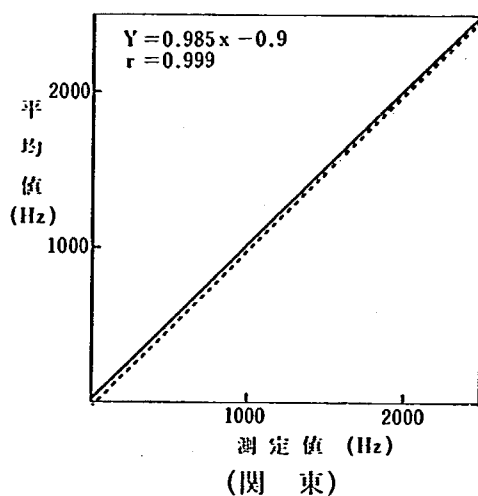
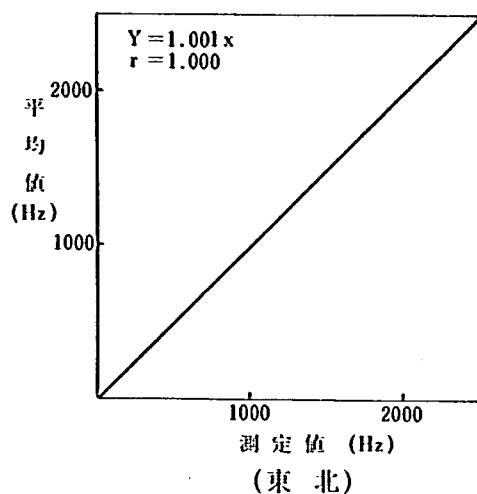
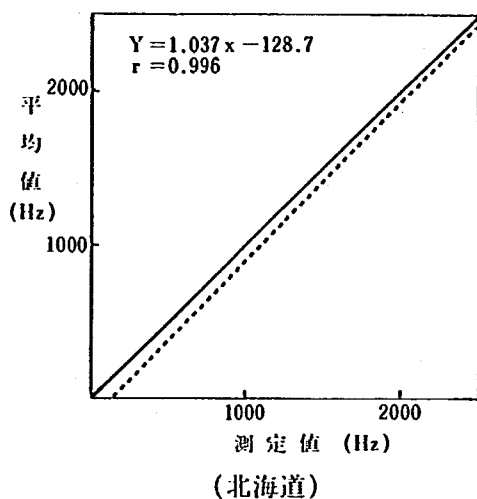


図-2.2(1) 試験所別校正直線

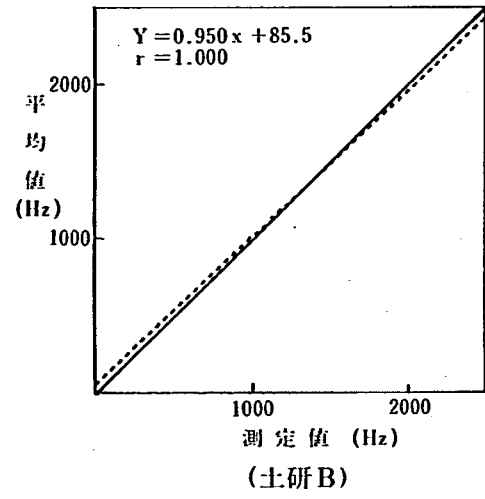
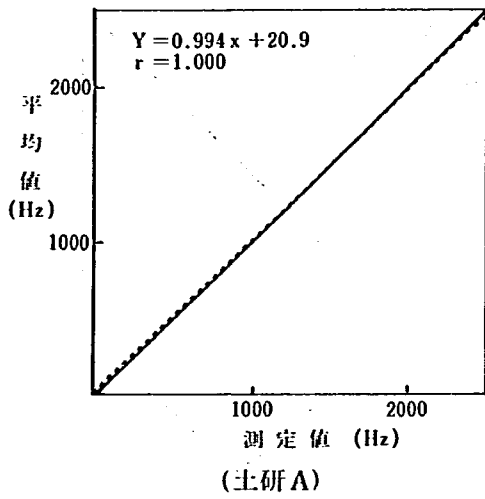
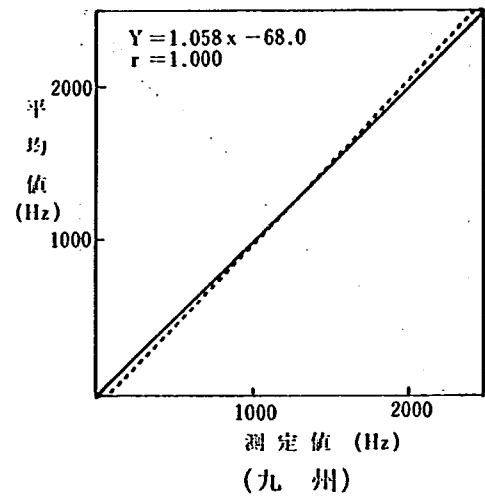
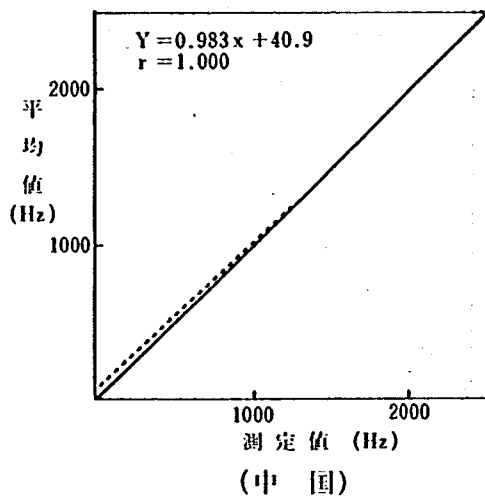


図 - 2.2 (2) 試験所別較正直線

表- 2.16 一次たわみ振動数の校正結果

(n=10)*

	供 試 体			最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数
較 正 前	コンクリート供試体	1	縦	2.208	2.110	2.167	27.0	1.2
			横	1.810	1.698	1.726	31.6	1.8
		2	縦	2.218	2.109	2.176	30.3	1.4
			横	1.830	1.702	1.733	35.7	2.1
		3	縦	2.210	2.114	2.165	30.3	1.4
			横	1.820	1.716	1.736	30.2	1.7
	カーボン供試体		縦	1.411	1.361	1.377	16.8	1.2
			横	1.500	1.372	1.409	37.8	2.7
較 正 後	コンクリート供試体	1	縦	2.181	2.142	2.169	11.0	0.5
			横	1.748	1.712	1.726	9.6	0.6
		2	縦	2.192	2.162	2.176	9.1	0.4
			横	1.768	1.718	1.733	14.4	0.8
		3	縦	2.176	2.157	2.164	5.9	0.3
			横	1.758	1.715	1.736	12.6	0.7
	カーボン供試体		縦	1.391	1.323	1.377	20.0	1.5
			横	1.426	1.398	1.409	10.1	0.7

* 四国のデータは除外した。

表- 2.17 2乗の比の校正結果

(n=10)*

	項 目	最 大	最 小	平 均	標準偏差	変動係数
較 正 前	1	68.3	61.3	63.3	2.0	3.2
	2	69.6	61.1	63.6	2.5	4.0
	3	67.8	61.6	64.4	1.8	2.7
	4	41.6	39.0	40.3	0.8	2.0
	5	69.3	65.3	66.6	1.4	2.1
較 正 後	1	66.7	61.9	63.3	1.3	2.0
	2	66.9	61.8	63.5	1.5	2.4
	3	66.1	62.5	64.4	1.1	1.8
	4	41.4	38.1	40.3	0.9	2.2
	5	69.3	65.2	66.7	1.1	1.7

* 四国のデータは除外した。

3. ま と め

同一バッチより製作した供試体の凍結融解試験（水中凍結水中融解法）結果が試験所間で変動する要因として、

- 1) 試験条件（ブライソンの上下限温度、凍結融解の温度勾配等）の違い
- 2) 動弾性係数測定器の性能の違い
- 3) 供試体製作の不均一性（空気量、締固め程度の差）

などが考えられる。これらのうち、本報では試験条件の影響の定量的評価まで至らなかったが、凍結融解試験の試験所間の変動また結果の指標となる動弾性係数測定の試験所間の変動を調査し、次のことが明らかとなった。

(1) コンクリートの凍結融解試験の試験所間の変動は耐久性指数50～70の範囲で30～40の最大最小の差となっており、同一骨材を用いた試験を行っても試験所によってその結果の評価は異なることになる。

(2) 同じ試験所の試験でも、供試体3本間の試験結果の変動の大きいものがある。また、試験の再現性も3年間の繰返しで最大26%程度の変動係数となっている。一方、動弾性係数測定による変動は次のとおりである。

(3) 測定器間の一次たわみ振動数の変動係数は1.2～2.6%であり、その変動係数は一次たわみ振動数が低いほど大きい傾向がある。また、測定器ごとに平均値より大きく、あるいは小さく測定する傾向がみられた。

(4) 同一測定器を用いた多数回測定においては、かなり良い精度で測定でき、その変動は1部を除き、0.3%以下であった。

(5) 測定器間の一次たわみ振動数の変動は、その2乗の比で表わされる耐久性指数60～70の範囲で最大10程度の差となって表われる。

(6) 一方、今回提案した較正式の利用によって測定器間の耐久性指数の10程度の差を5程度とすることができた。

4. 結 言

コンクリート凍結融解試験方法の標準化のための次の調査を継続して行っている。

1) 凍結融解試験機の性能調査

この調査は、凍結融解試験結果の変動を小さくするための共通試験条件を設定する目的で行うものである。

2) 共通試験条件下における試験所間の変動，再現性の調査

この調査は、1) で設定された試験条件で同一バッチの供試体について凍結融解試験を行い、試験所間の変動と変動要因を求めるものである。また、併せて試験の再現性（くり返し精度）、の調査、同一試験機内での変動の調査等も行う。

今後のこれらの調査結果に基づき、標準的な凍結融解試験方法を提案したいと考えている。

参 考 文 献

- 1) 建設省技術管理業務会議コンクリート部会：昭和51年度調査試験報告書，
昭和52年3月
- 2) 建設省技術管理業務会議コンクリート部会：昭和52年度調査試験報告書，
昭和53年3月
- 3) 建設省技術管理業務会議コンクリート部会：昭和53年度調査試験報告書，
昭和54年3月
- 4) ASTM C 666-80 : Standard Test Method for RESISTANCE OF
CONCRETE TO RAPID FREEZING AND THAWING

コンクリートの凍結融解
試験方法に関する調査 (1)

ISSN 0386-5878
土木研究所資料第2093号
昭和59年3月(1984)

キーワード: コンクリート, 凍結融解試験,
試験精度

蒔田 実, 小林茂敏
河田博之, 石井良美

要旨 コンクリートの凍結融解試験は、骨材の凍結融解耐久性を
評価する方法として広く行われているが、その精度について
は必ずしも明確にされていない。本報告書は、建設省各技術事務所、
北海道開発局土木試験所、土木研究所の凍結融解試験機について、共
通試験により、試験結果の変動及び変動要因の調査を行った結果をと
りまとめたものである。



郵便はがき

四十円切手
をはって下
さい

305-□□

建設省土木研究所
コンクリート研究室 御中

茨城県筑波郡豊里町大字旭一番地

No. _____

No. _____

配布先氏名

配布先住所



土木研究所資料第2093号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名

印