

論文

[1079] 型わく振動機で締固めた軽量コンクリートの中性化と諸物性

田代 喬 (東海興業技術研究所)

岩木 暹 (東海興業技術研究所)

大山 信彦 (東海興業技術研究所)

正会員 ○ 川崎三十四 (東海興業技術研究所)

1. まえがき

数年前より軽量小型の高周波型わく振動機が建築工事現場で使用されだした。しかし、マスコンクリート部材と異なり建築物の壁体のように薄い部材の場合、型わくの単管、合板、セパレータを介して外部から加振する事が品質低下に至らないか疑問が残る。特に、軽量コンクリートは比重が小さいので加振による品質変化が大きくないか疑念が大である。

本編は、型わく振動機で締固められた軽量コンクリート壁体の中性化などについて文献も見当たらないため、問題点がないかを明らかにしたものである。試験は促進中性化、コアの空気量、気泡間隔係数など、耐久性的視点から検討した。

2. 試験体とコンクリートの種類

実験したコンクリート試験体は軽量1種のA, B, C, D, E, Fと軽量2種のG, H, I, J, K, Lの12体である。形態は図-1に示すものであり、配筋はX, Y方向壁とも縦横D10@200となつて

表-1 コンクリートの仕様

種類	設計基準強度 (kg/cm ²)	指定スランプ (cm)	指定空気量 (%)	指定気乾単重 (t/m ³)
軽1	270	18	5.0	1.90
軽2	210	18	5.0	1.60

*水セメント比: 軽1=50.1%, 軽2=57.8%

表-2 コンクリートの締め固め方法

試験体	生コン車	締め固め機 具	加振時間		周波数 Hz	
			打込み中	打込み後		
軽1	A	棒型振動機1台、木づち1個	コンクリートが高さ約60cmに到達後に加振を開始。以後、最上部に到達迄連続加振(2分)。	0秒	200	
				4.5秒		
				9.0秒		
	E	2台目		8分		
				4.5秒		180
				4.5秒		240
軽2	G	型わく振動機1台	同上	0秒	200	
				4.5秒		
				9.0秒		
	K	4台目		8分		
				4.5秒		180
				4.5秒		240

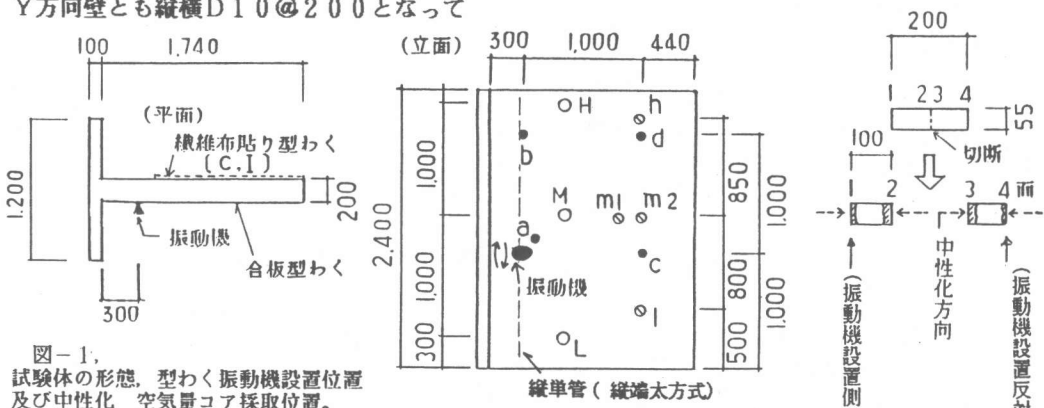


図-1, 試験体の形態、型わく振動機設置位置及び中性化空気量コア採取位置。

a, b, c, d及びh, m1, m2, lは中性化コア採取位置
H, M, Lは空気量コア採取位置。

図-2, 中性化方法

いる。また、コンクリートの仕様は表-1に示す。但し、打込み時にスランプ21cmに流動化している。

3. 型わくの種類と締固めの概要

型わくは合板型わくを用いており試験体の1部(図-1表示)は繊維布貼り合板(100mm 間隔で、径3mm の穴を基盤目状にあけその内側にポリエステル繊維を貼ったもの)である。コンクリートはポンプ圧送で打込でいる。

締固めの方法は表-2の方法で行われており、型わく振動機は重さ4.3 kgで周波数200 Hz, 同期回転数6000rpm のものを用い、E, F, K, L試験体では周波数を180Hz(5400rpm)と240Hz(7200rpm)に周波数変換機で変換している。型わく振動機の設置方法は図-1に示すように振動機1台を縦単管に取り付け(縦端太方式)、振動機の回転軸が壁面に水平となり鉛直方向に振動力が伝達され易いようにしている。棒型振動機は大きさφ39×441mm, 周波数200Hz, 振動数12000rpmのものである。

4. 実験内容と方法

(1) 促進中性化試験

型わく振動機で締固めた場合、中性化にどのように現れるか予測する為、材令1年で各試験体よりφ55×200mmのコアを抜き取り促進中性化を行った。(但し材令1年迄は屋外暴露養生)。コアの抜き取り箇所は図-1に示すように、型わく振動機を基準としてa, b, c, d点とし位置による差異も検討した。但し、C, I試験体は合板と繊維布貼り合板型わく側の差異を見るため中段(m1, m2 : h = 1.3

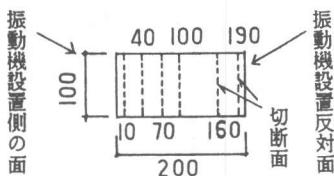


図-3. 空気量測定位置

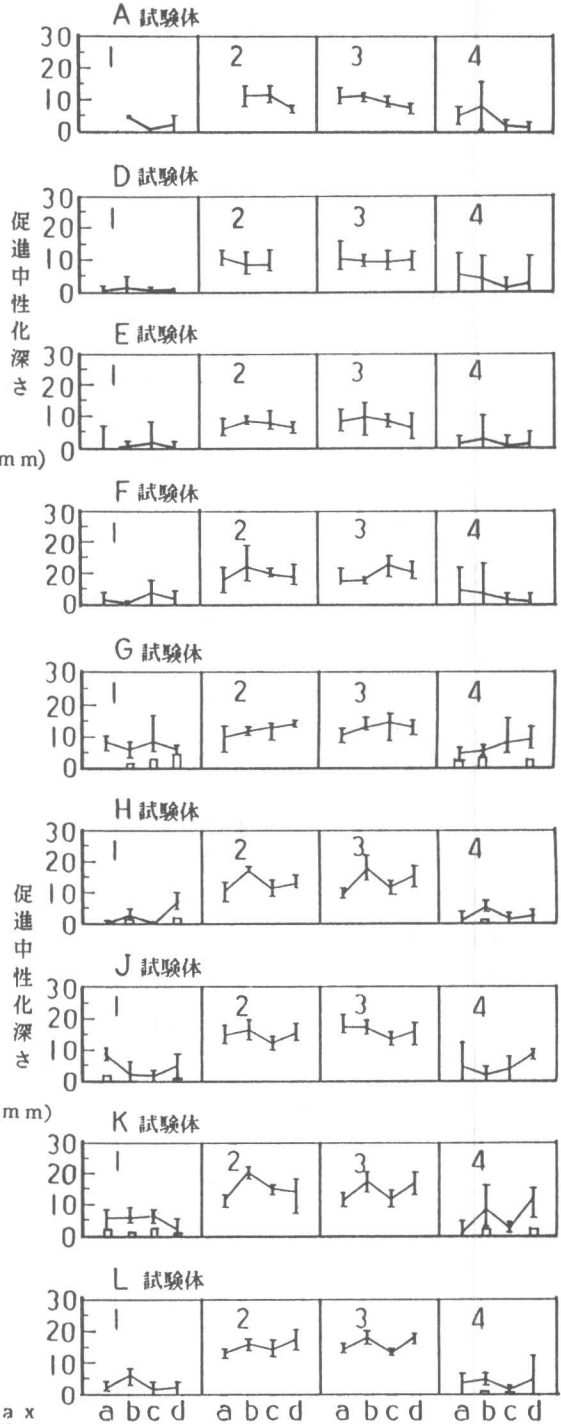


図-4. 促進中性化試験結果

(記号) 1 : 振動機設置側の面 2 : 中心切断面(左)
3 : 中心切断面(右) 4 : 振動機設置反対面

(B試験体はC点のみ試験したため略す)

屋外暴露1年の中性化深さ(max)

m) で試験した。また F, L 試験体のみ上段 (h : h = 2.15 m) 中段 (m1, m2 : h = 1.3 m) 下段 (l : h = 0.5 m) から採取し高さ方向の差異をみた。促進中性化は図-2 に示すようにコアを中央で切断し、側面をペイントで塗布後、温度 30℃、湿度 60%、炭酸ガス濃度 5% の室内に 2ヶ月静置して行った。コアを中央で切断したのは両表面と中心部の中性化速度を比較するためである。試験はフェノールフタレイン 1% アルコール溶液を粉霧して行った。尚、コア 1 個の各試験面における試験数は 5 点である。

(2) 試験体表面の仕上がり評価

表面の仕上がり優劣と中性化速度を比較するため目視で観察を行った。評価段階は既往文献¹⁾を参考として優、良、可、不可の 4 段階とした。またそれらを数値化するため透明方眼紙を用いて 15 cm 正方形に気泡分布をトレースし単位面積当りの気泡面積率を算出して評価の資料とした。

(3) 空気量と気泡間隔係数試験

硬化後の凍結融解劣化に影響する空気量、気泡間隔係数の分布が型わく振動機の使用によって異常となっていないか調べるため $\phi 10 \times 20$ cm のコアを採取し試験した。コアは図-1 に示したように各試験体の上段 (H : h = 2.3 m)、中段 (M : h = 1.3 m)、下段 (L : h = 0.3 m) から採取し図-3 に示すように、型わく振動機設置面からその反対面に向かって 10, 40, 70, 100, 160, 190 mm の箇所で切断し各位置での試験をした。試験方法は ASTM C 457 (顕微鏡による硬化コンクリートの気泡システムのパラメータと空気量の測定方法) によった。

5. 実験結果および考察

(1) 促進中性化

各試験体の型わく振動機を基準とした a (mm) , b, c, d 点の 1, 2, 3, 4 面に於ける促進中性化試験結果を図-4 に示し、1 面と 4 面で型わくの種類が異なる C, I 試験体の中段 (m1, m2) の 1~4 面の結果を図-5 に示す。また各面の高さ方向の中性化差異を見た F, L 試験体の結果を図-6 に示す。尚、材令 1 年迄の間に中性化していた結果も図-4 に表示した。但し、1 年間で中性化していたのは軽量 2 種の一部のみであった。

以上の結果から図-4 ではコア中心の 2, 3 面が表面の 1, 4 面より中性化が大きくなっており、内部でのコンクリート状況が異なっている事を示している。中性化開始時の含水率は 8~9% と同じであったためセメントペーストの移動などの疑いがもたれ、示差熱重量分析法などによる詳細

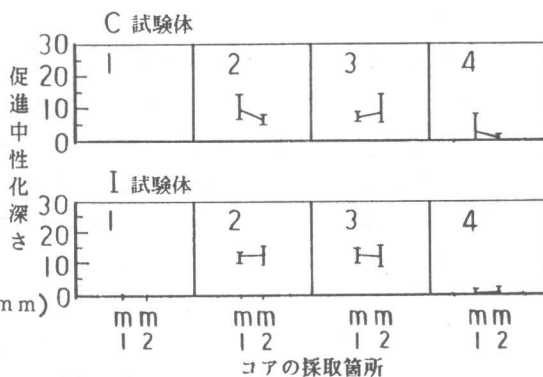


図-5. 促進中性化試験結果 (型わくの種類)
1 : 振動機設置側の面 (繊維布貼り合板) 2 : 中心切断面 (左)
3 : 中心切断面 (右) 4 : 振動機設置反対面 (合板)
m1 : 中段1 m2 : 中段2

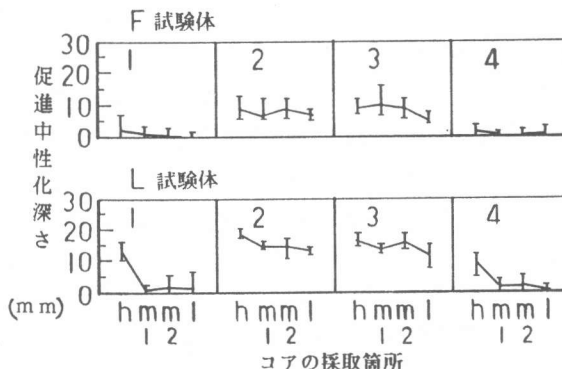


図-6. 促進中性化試験結果 (高さ方向)
(記号) 1 : 振動機設置側の面 2 : 中心切断面 (左)
3 : 中心切断面 (右) 4 : 振動機設置反対面
h : 上段 m1 : 中段1 m2 : 中段2 l : 下段

な検討が必要と思われる。但し、既往文献²⁾によれば今回の促進養生条件の場合、約19mmの中性化深さとなる事が判明している。従って実験結果はコア中心部が既往文献の値に近く表層面は締固めの過程で中性化しにくい組成となっている。また予測された事であるが水セメント比の小さい軽量1種の中性化が軽量2種よりも小さい傾向にある。

図-5の型わくの種別では、1面の繊維布貼合板側の中性化は全くなかった。4面の合板側よりも良い結果となっておりコンクリート打込み中に径3mmの穴から水が漏れ密実になった事によるものと考えられる。中性化抑制には効果があろう。また、図-6の高さ方向別では各面共も上段、中段、下段の順に中性化が小さく上部からのコンクリート重量によって下部程密実となっている事が推測できる。尚、屋外暴露1年では軽量2種に少し中性化していた。後述の(3)で記すように仕上り評価の良くない面に生じている事から仕上り程度の大切さが分かる。

(2) 中性化速度比とバラツキの分析

図-4, 5, 6に示した結果を分析し、棒型振動機で締固めたA試験体の平均中性化深さを基準とした中性化速度比を表-3に示し、B~L試験体の型わく振動機の設置位置近くのa点を基準としたb, c, d点の中性化速度比を表-4に示す。また、1, 2, 3, 4面の中性化深さのバラツキを比較した結果を表-5に示す。

以上の分析から表-3では1~4面とも軽量1種コンクリートは棒型振動機で締固めたA試験体に比べ中性化速度が小さく、特にコア中心よりも1, 4面の表層面に於いてその傾向が大きい。この事は、型わく振動機で締固めた場合コンクリートの中性化抑制に効果がある事が推察される。また軽量2種コンクリートは比重が異なるためA試験体と絶対比較は出来ないが、同様にコア中心よりも表層面の方が中性化速度が小さい傾向にある。尚、型わく振動機の加振時間、周波数の相違による中性化速度比の差は余り現れなかった。

表-4では型わく振動機設置側の1面と反対側の4面で傾向が異なる。同じ1面と4面でも軽量1種と2種で傾向が異なり余り差異を類別出来ない。今回は型わく振動機1台を同位置に固定していたが現場のように次々と配置替えしていく場合、設置位置による中性化速度比の分布の分析はなお一層困難である。

表-5のバラツキ比較では最小0.5mmから最大

表-3 コア内部の中性化速度比

試験体	促進中性化試験面				
	1面	2面	3面	4面	
軽1	A	1.0	1.0	1.0	1.0
	B	1.0	0.8	0.7	0.3
	C	0.0	0.8	0.8	0.4
	D	0.2	0.9	1.0	0.8
	E	0.5	0.8	0.8	0.5
	F	0.7	0.9	1.0	0.6
軽2	G	2.8	1.2	1.3	1.6
	H	1.0	1.3	1.4	0.6
	I	0.0	1.2	1.2	0.1
	J	1.6	1.5	1.6	1.1
	K	1.9	1.5	1.4	1.4
	L	1.2	1.5	1.6	0.9

*A試験体を1とし各面毎に比較する。
*1面：型わく振動機設置側の面。2面、3面：壁体コア中心切断面。4面：型わく振動機設置側の反対面。

表-4 コア採取箇所の中性化速度比

		a点	b点	c点	d点
軽1	1面	1.0	1.5	3.5	2.4
	4面	1.0	0.9	0.4	0.4
軽2	1面	1.0	0.9	0.7	0.8
	4面	1.0	1.7	1.1	2.4

*a点を基準1.0とする。
1面：型わく振動機設置側の面。
4面：“ ” 反対側の面

表-5 促進中性化深さのバラツキ比較

		1面	2面	3面	4面
B D E F 試験体	最大 (mm)	8.0	11.0	9.0	11.4
	最小 (mm)	0.5	1.6	1.5	3.0
	平均 (mm)	3.3	5.1	5.3	7.1
	標準偏差 (mm)	2.5	2.5	2.1	3.7
	変動係数 (%)	74.2	48.7	38.8	52.2
G H J K L 試験体	最大 (mm)	12.0	11.0	8.0	13.0
	最小 (mm)	0.5	1.5	1.5	2.0
	平均 (mm)	4.5	4.4	4.7	5.7
	標準偏差 (mm)	2.3	2.1	1.7	3.3
	変動係数 (%)	52.5	47.2	36.7	59.0

*試験数は軽1が14、軽2が24箇所。A,C,I試験体は略す。

13mmまであり、平均では5mm程度である。各面の変動係数はコア中心の2、3面よりも表層面の1、4面の方が大きい。表層面は中性化の平均値は中心部より小さいがバラツキが大きいと言える。因みに文献³⁾ではバラツキの変動係数を約40%と記しており、それに比べ型わく振動機で締固めた場合表層面のバラツキは大きい。これは先の(1)でも記したように表層面付近での密実さに変化が生じているものと推察される。

(3) 試験体表面の仕上り評価

各試験体の表面仕上り評価結果を表-6に示す。評価の中で薄塗り補修を必要とするのは不可のものであるが、可のものも場合によっては補修した方が良い場合もあろう。全体的に軽量1種コンクリートが軽量2種よりも仕上りが良く、先の(1)の促進中性化並びに材令1年迄の屋外暴露による中性化深さの傾向と一致している。即ち仕上りが悪いと中性化も早く締固めの良否が問われる。但し、軽量2種で仕上りが余り良く無かったのは後述の(4)で記すようにまだ固まらないコンクリートの空気量の一部が表面に出ようとして気泡になったのか定かでない。尚、透明方眼紙による気泡面積率の算出結果は表-6の欄外に示した。

(4) 空気量と気泡間隔係数

コンクリート内部の空気量試験結果を表-7に示し、空気量と気泡間隔係数の関係を図-7に示す。また棒型振動機で締固めたA試験体を1とし、型わく振動機で締固めた各試験体の気泡間隔係数比を図-8に示す。

表-7では空気量の分布に余り大きな傾向が見られず、3.7~6.0%の範囲である。即ち、型わく振動機設置面からの深さ別およびC、F、I、L試験体の高さ方向別並びにC、I試験体の型わく種類別での差異が小さい。全般に欠陥を示すものはない。但し、まだ固まらないコンクリートの空気量との比較では、軽量2種の場合コンクリートコアの空気量が小さい。加振中に横移動し型わくが振動しているとき外部に出ようとしたものと推察され、表面に溜まり仕上りが悪くなった現象である。特に比重が小さいのでその疑いがある。また、外部に出ようとした空気は打ち込み時に巻き込まれた空気の疑いが強い。

図-7の気泡間隔係数は軽量1種の場合265

表-6 試験体表面の仕上り評価

試験体	観察面		試験体	観察面	
	1面	4面		1面	4面
A	優	優	G	可	不可
B	良	良	H	不可	良
C	優	良	I	優	優
D	優	良	J	不可	良
E	優	優	K	良	良
F	優	優	L	優	良

優：気泡が全くないか、径2mm位迄。
 良：径3~5mm位の気泡が目立つ。
 可：径5~10mm位の気泡が目立つ。
 不可：径8~13mmの気泡が目立つ。
 (気泡面積率)：優=1.4%、良=2.1%、可=5.4%、不可=11%

表-7 コア内部の空気量試験結果 (単位：%)

			コアの切筋試験面までの距離 (mm) (注)					
			10	40	70	100	160	190
1	A	中段	4.5	4.4		4.2		
		B 中段	4.7	4.3	4.6	4.2		
	C	上段				4.6		
		中段	4.2	4.3		4.2	4.3	4.0
		下段				4.7		
	D	中段	4.7	4.7		4.0		
	E	中段	4.7	4.8		4.7		
	F	上段	5.2	4.4		4.6		
		中段	5.3	5.3	4.8	6.0		
下段		4.8	5.0		5.8			
2	G	中段	4.2	4.2		4.9		
	H	中段	4.4	4.0	4.4	3.9		
	I	上段				4.2		
		中段	3.9	4.6		4.7	4.5	3.7
		下段				4.5		
	J	中段	4.2	4.3		4.9		
	K	中段	4.1	4.3		4.4		
	L	上段	4.8	4.4		4.5		
		中段	4.5	4.6	4.8	5.2		
下段		4.5	4.2		4.8			

(注)：距離は型わく振動機設置側面からの深さ。空欄は無試験。
 (打ち込み直前のコンクリート空気量)：軽量1種=4.5~4.9%、
 軽量2種=5.4~5.5%。

～385 μm の範囲、軽量2種では290～398 μm の範囲にある。一般にA E 剤混入コンクリートの気泡間隔係数は300 μm 前後であり耐凍結融解に悪影響を及ぼす値でないことを示している。

図-8ではコンクリート表面に近い10, 40 mm部分と中心部の100 mm部分とも軽量1種の場合、A試験体に比べ10%前後の値である。試験誤差を考慮すれば型わく振動機による締固めも棒型振動機による締固めと耐凍結融解性では差がないと言えよう。軽量2種は比重が異なるためA試験体と絶対比較は出来ないが型わく振動機による悪影響は現れていないと推察される。また、軽量1種と2種の結果を見て加振時間、周波数の違いによる試験体ごとの傾向は明らかとならなかった。

6. 結論

型わく振動機で締固めた本実験の結果をまとめれば下記のようなものである。

- 1) 促進中性化の平均深さはコア中心切断面が表層面よりも大きい。
- 2) 促進中性化深さの分布のパラッキは表層面がコア中心切断面よりも大きい。
- 3) 促進中性化深さはコア中心切断面の値が既往文献²⁾の値に適合し、表層面はそれよりも小さい。
- 4) 表層面は組成または密実さに変化が生じコア中心切断面よりも中性化しにくくなっている。
- 5) 型わくに穴あき繊維布貼り合板を使うと中性化が全くなく中性化抑制に効果がある。
- 6) 棒型振動機で締固めたものに比べ中性化速度が小さく、中性化抑制に効果がある。特に、コア中心切断面よりも表層面に於いてその傾向が大きい。
- 7) 加振時間、周波数の相違による中性化速度比の差は現れない。
- 8) 振動機の設置位置を基準とした各位置での中性化速度比の分布は、傾向が現れず分析が困難である。特に、現場では次々と配置替えしていくためなお困難である。
- 9) 表面に気泡が多く仕上がりが悪いと表層面での中性化が早く締固めの良否が問われる。表面気泡はコンクリート打ち込み時の巻き込み空気に加振で移動し表面に溜まる現象の疑いが強い。
- 10) コンクリート内部の空気量、気泡間隔係数の分布は変動が少なく、欠陥を示すものは現れない。耐凍結融解は棒型振動機で締固めたものと差がないようである。

〔謝辞〕 本実験に御協力を得た山宗化学(株)平石信也氏に深く謝意を表します。

〔参考文献〕 1) 岸谷孝一、西沢紀昭他編：中性化(技報堂出版、pp 37～39)

2) 日本建築学会編：建築工事標準仕様書同解説、JASS 5 鉄筋コンクリート工事1986

3) 高英雄他：経年RC構造物におけるコンクリートの中性化と鉄筋の腐食、第6回コンクリート工学年次講演会論文集、1984、pp 181～184。

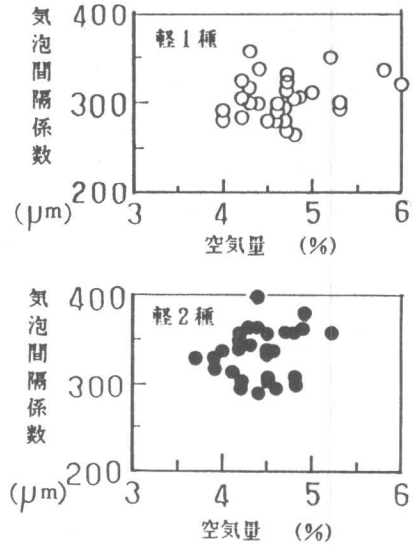


図-7 空気量と気泡間隔係数の関係

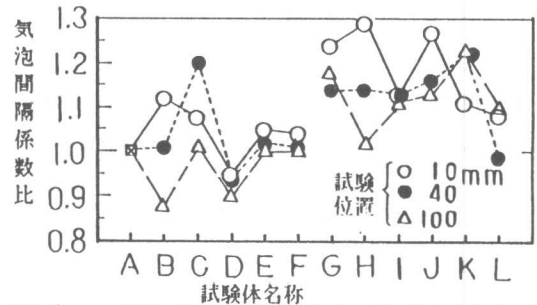


図-8 コア内部の気泡間隔係数比(A試験体を1とする)
試験位置は型わく振動機設置面からの深さ。