

論文

[1115] 透水性シートを用いた型わくによるコンクリート表面の品質改善

正会員○竹田 宣典 (大林組技術研究所)
 平田 隆祥 (大林組技術研究所)
 正会員 十河 茂幸 (大林組技術研究所)
 芳賀 孝成 (大林組技術研究所)

1. はじめに

近年、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を向上させ、より高品質な構造物を建設するためにさまざまな技術開発が行なわれるようになった。コンクリート構造物の耐久性と美観を向上させることを目的とし、透水性のシートを用いた型わくにより、コンクリート表面の品質を改善する方法もその一つである。^{1), 2)} しかし、この工法を用いたコンクリートの耐久性の向上効果については、十分に明らかにされていないのが現状である。

本論文では、透水性のシートを用いた型わくを、ダム堤体やドーム構造物等に適用することを目的として、傾斜面に用いた場合あるいは中庸熟ポルトランドセメントを用いた場合のコンクリートの耐久性改善の効果およびその影響範囲について述べる。

2. 実験概要

2.1 透水性シートの概要

図-1 に実験に用いた透水性シートの構造を示す。透水性シートは、コンクリートとの剥離性の良い有孔フィルム層と透水層(不織布)の2層構造となっている。

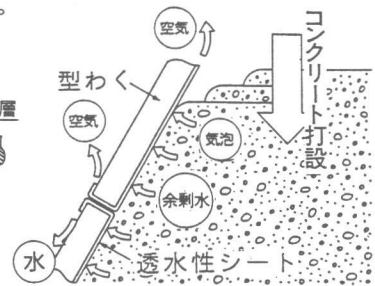
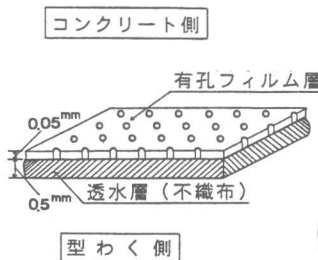


図-1 透水性シートの構造

図-2 余剰水・気泡の排出状況

図-2 に示すように、コンクリートの打込み・締固め時に生じる余剰水や気泡は有孔フィルム層の細孔より取り込まれ、透水層を通過し型わくの外部へ排出される。

2.2 供試体の概要

表-1 に供試体の形状および種類を示す。表-2 に実験に用いたコンクリートの示方配合と試験結果を示す。

セメントには、普通ポルトランドセメント (NP : 比重 3.16, 比表面積 3220 cm²/g) および中庸熟ポルトランドセメント (MP : 比重 3.21, 比表面積 3230cm²/g) を使い、後者を用

表-1 供試体の概要

形状寸法	鉛直面型わく				傾斜面型わく		
	Q=90°				Q=60°, 45°, 30°		
供試体No	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
傾斜角	90°				60°	45°	30°
使用セメント	普通ポルトランドセメント		中庸熟ポルトランドセメント		普通ポルトランドセメント		
水セメント比	6.0	4.5	6.0	4.5	6.0		
配合	I	II	III	IV	I		

いた配合には内割り20%のフライアッシュ（比重 2.23, 比表面積 4140 cm²/g, SiO₂ 50.4%）を用いた細骨材には木更津産山砂（比重 2.60）を、粗骨材には青梅産碎石（比重 2.65）を用いた。型わくは厚さ12mmの化粧合板に透水性シートを張付けたものと、張付けないものの2種類で作成した。いずれの供試体も、棒状バイブレータを用い3層に分けて打設した。脱型は材令4日で行ない、その後、屋外においてシートで覆い気中養生を行なった。

2.3 試験項目・試験方法

表-3に試験項目・試験方法を示す。中性化速度、遮塩性、水密性、気泡分布に関する試験は、供試体より採取したコアを用いて実施した。

図-3に試験位置およびコア採取位置を示す。

3. 実験結果および考察

3.1 配合が品質改善に及ぼす影響

3.1.1 脱水量

図-4に脱水量の経時変化を示す。鉛直面の場合、いずれの配合も今回の試験では、脱水量は2.3～2.7 l/m²でありセメントの種類、水結合材比によって大きな差はなかった。

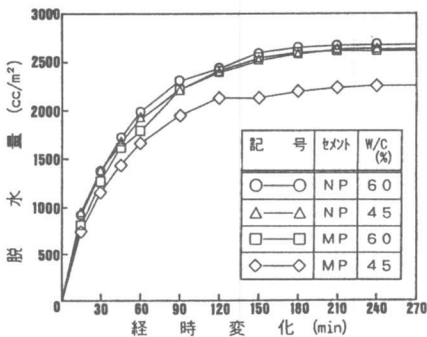


図-4 脱水量の経時変化

表-2 配合およびコンクリートの性質

セメントの種類	Gmax (mm)	W/C (%)	s/b (%)	単位量 (kg/m ³)						スランプ (cm)	空気量 (%)	圧縮強度 (kgf/cm ²)
				水	セメント	細骨材	粗骨材	フライアッシュ	AE減水剤			
I NP	20	6.0	4.7	160	267	874	1004	0	0.67	10.0	4.5	272
		4.5	4.4	160	356	786	1020	0	0.89	13.0	3.3	501
III MP	20	6.0	4.7	150	200	894	1028	50	0.63	14.5	4.9	180
		4.5	4.4	150	267	803	1036	67	0.83	15.0	4.2	339

表-3 試験項目・試験方法

試験項目	試験方法	コア採取位置 (試験位置)
脱水量	型枠の下部において、透水性シートによって排出される水の量を測定	—
表面硬度	シュミットテストハンマー 材令7日、28日において試験（日本材料学会） $f_c = 13 \cdot R - 184$ （Rは角度による補正を行）	A
表面のあばた	表面あばたの写しとり あばた率 = $\frac{\text{あばたの面積}}{\text{測定面積 (30} \times \text{30} \text{cm}^2)}$	B
中性化速度	中性化促進試験 ・コア供試体 (φ150 × 150)、試験材令1ヶ月 ・CO ₂ 濃度5%、温度30℃、湿度40%の室内に2ヶ月間放置後、割製しフェノールフタレイン液の変色域を測定	C
遮塩性	人工海水浸透試験 ・コア供試体 (φ150 × 150)、試験材令1ヶ月 ・Cl ⁻ 濃度1.8%の人工海水に2ヶ月間浸漬後、割製しフルオレセインナトリウム液の変色域を測定	D
水密性	透水試験 ・コア供試体 (φ150 × 150)、試験材令1ヶ月 ・10kgf/cm ² の水圧を48時間作用させ、水の浸透距離より拡散係数を求める	E
コンクリートの気泡分布	表面より1°、3°、5°、7°の位置のコアについて、画像解析装置により空気量と気泡間隔係数を測定	F
超音波速度 (P波)	コンクリート表面から、深さ方向に1°毎に測定、試験材令2ヶ月	G

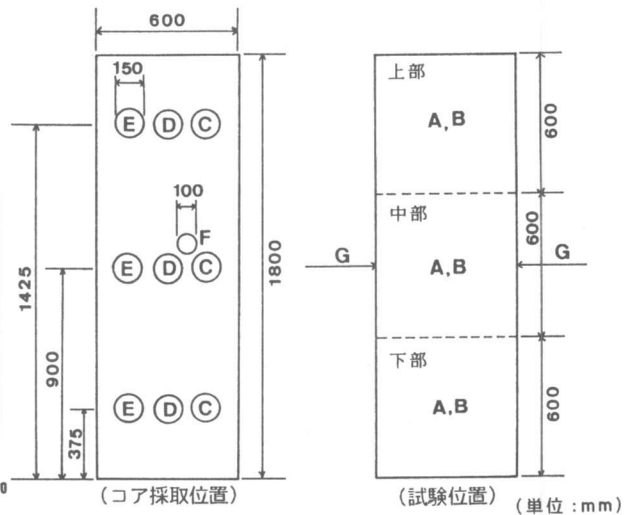


図-3 試験位置・コア採取位置

3.1.2 表面強度およびあばた率

図-5に材令28日におけるシュミットテストハンマー試験による表面強度の推定値を示す。合板型わくを用いた場合は、高さによる表面の強度差は小さいが、透水性シートを用いた場合、下部ほど表面強度は増加する。これは、下部ほど型わくに作用する圧力が大きいため、脱水量が多くなり、水セメント比が小さくなるためと考えられる。

図-6に透水性シートを用いた場合の合板型わくに対する表面強度比を示す。いずれの配合も、若材令において表面の強度比は高く、強度発現の遅い中庸熟ポルトランドセメント(MP)を用いたものがその傾向が強い。材令28日における普通ポルトランドセメント(NP)の強度増加率は30~50%程度であるが、MP(W/C=60%)のそれは、上部で20%、下部で80%であり、強度増加率の高さによる差が大きい。強度増加の差は、コンクリートの凝結速度の違いが、型わくに作用する側圧に影響するために生じると考えられる。

鉛直な面の表面のあばた率は、合板型わくの場合、配合にかかわらず平均すると3~5%程度であるが、透水性シートを用いた場合は、0.1%以下となった。あばたの減少は、耐久性の向上に効果があるものと考えられる。

3.1.3 中性化速度・遮塩性・水密性

図-7に中性化促進試験および海水浸漬試験の結果を示す。透水性シートを用いた場合の中性化深さは、合板型わくを用いた場合に対して、NP(W/C=60%)で20~50%、NP(W/C=45%)で5~25%、MP(W/C=60%)で15~60%、MP(W/C=45%)で4~35%の範囲にあり、中性化の抑制効果が認められた。また、上部と下部との差は、合板型わくに対する比率で、NP(W/C=60%)では約30%、

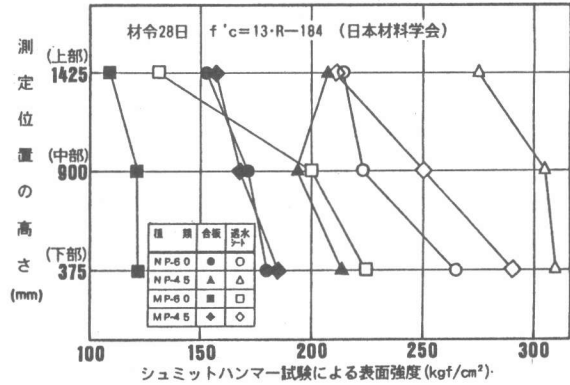


図-5 表面強度の推定値(材令28日)

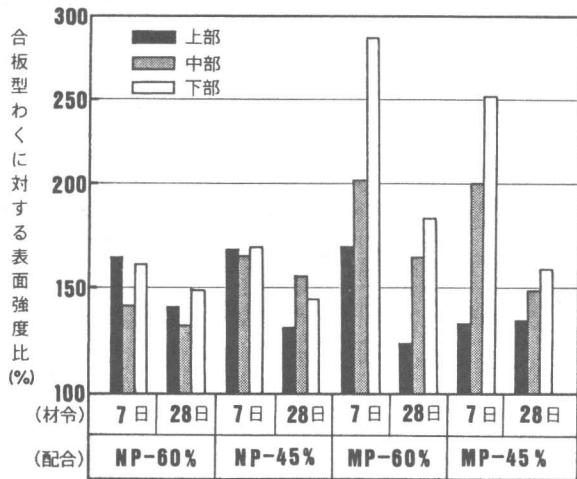


図-6 表面強度の増加率(合板型枠=100)

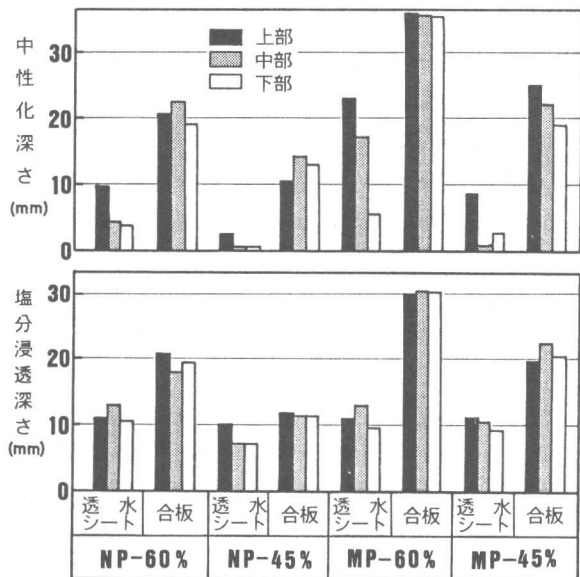


図-7 中性化促進試験・海水浸漬試験結果

MP (W/C=60%) では約45% であり、MPのほうがNPに比べて大きい。塩分浸透深さはいずれも、合板型わくを用いた場合に対して小さくなり、MP (W/C=60%, 45%) の場合50%以下となった。図-8 に表面強度と中性化深さの関係を、図-9 に表面強度と塩分浸透深さの関係を示す。中性化深さおよび塩分浸透深さは表面強度と相関関係があることが認められた。透水性シートの脱水作用により、表面部のコンクリートの水セメント比が小さくなり高強度化・緻密化するために、中性化速度および塩分浸透速度が遅くなるものと考えられる。

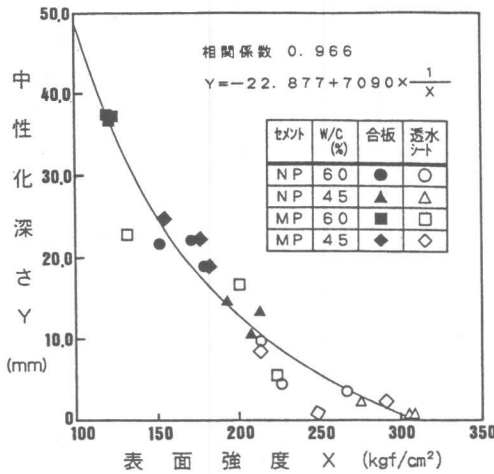


図-8 表面強度と中性化深さの関係

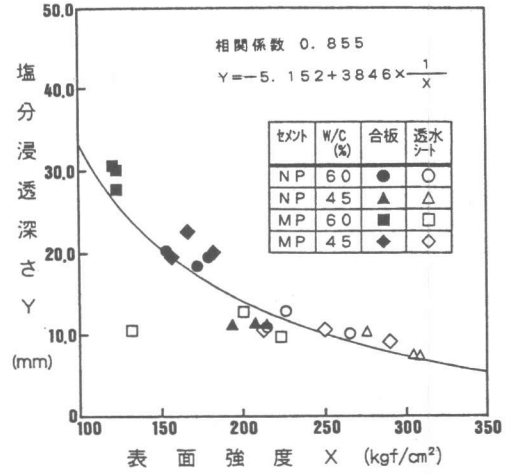


図-9 表面強度と塩分浸透深さの関係

表-4 に透水試験の結果を示す。拡散係数は配合により差があるが、透水性シートを用いた場合、合板型わくを用いた場合の1/4~1/16程度となった。

以上のことより、水セメント比、セメントの種類によって、透水性のシートの効果に大きな差異はなく、中庸熟ポルトランドセメントを使用した場合にも、耐久性および水密性が向上することが確認できた。

3.2 傾斜角度が品質改善におよぼす影響

3.2.1 脱水量

コンクリート面が傾斜している場合の脱水量は、鉛直面に比べて60~90%程度となる。今回の実験では傾斜角度と脱水量の相関関係を見出せなかったが、型わくに作用する側圧の大きさが脱水量に影響すると考えられる。

3.2.2 表面硬化およびあばた率

図-10 に材令28日におけるシュミットテストハンマー試験による表面強度の推定値を示す。いずれの傾斜角度においても鉛直面と同様に、測定位置が低いほど高い表面強度が得られた。

図-11 に、透水性シートを用いた場合の合板型わくに対する表面強度比を示す。透水性シートを傾斜面に用いた場合、傾斜が緩やかになるほど表面強度は小さくなるが、傾斜角度30°においても、合板型わくに対して20~50%の強度増加が認められた。

あばた率は、合板型わくを用いた場合、角度60°で3.2%、角度45°で4.4%、角度30°で5.7%であったが、透水性シートを用いた場合は、それぞれ0.1%、0.1%、0.3%となり、いずれの傾斜角度においても、表面のあばたの減少に有効であった。

表-4 透水試験結果

No.	セメント	W/C (%)	拡散係数 ($\times 10^{-4} \text{cm}^2/\text{sec}$)	
			透水性シート	合板
①	NP	60	47	432
②		45	8.3	135
③	MP	60	141	1000以上
④		45	107	400以上

3.2.3 中性化速度・遮塩性・水密性

図-12に中性化促進試験および海水浸漬試験の結果を示す。中性化深さは、角度が緩やかなほど大きくなり角度60°, 45°, 30°において、合板型わくに対してそれぞれ、約40%、約50%、約60%であった。同様に、塩分浸透深さも傾斜角度が緩やかなほど大きくなり、合板型わくに対して、角度60°, 45°, 30°において、それぞれ約20%、約30%、約50%であった。図-13に透水試験の結果を示す。拡散係数は合板型わくに対して、鉛直面・傾斜角60°の場合で約1/10、傾斜角45°の場合で約1/5、傾斜角30°の場合で約1/3となった。

透水性シートを用いた型わくによる中性化速度の抑制・遮塩性・水密性の向上効果は、傾斜角30°の斜面においても認められたが、角度が緩やかとなるほど、その効果は小さくなる傾向が見られた。これは、透水性シートの効果は、型わくに作用する側圧の大きさおよび作用する時間などに影響されるためであると考えられる。

3.3 透水性シートの影響範囲

3.3.1 硬化コンクリート中の気泡分布

表-5に硬化コンクリート中の空気量および気泡間隔係数の測定結果を示す。図-14に傾斜角度30°の面における高さ1cm

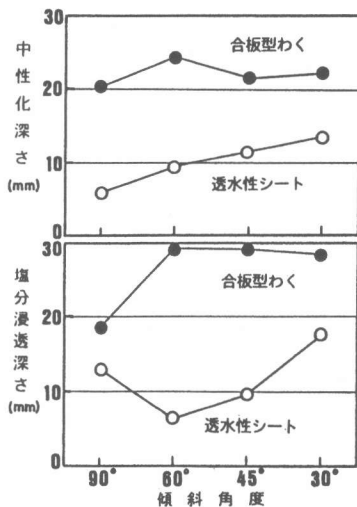


図-12 中性化促進試験・海水浸漬試験結果

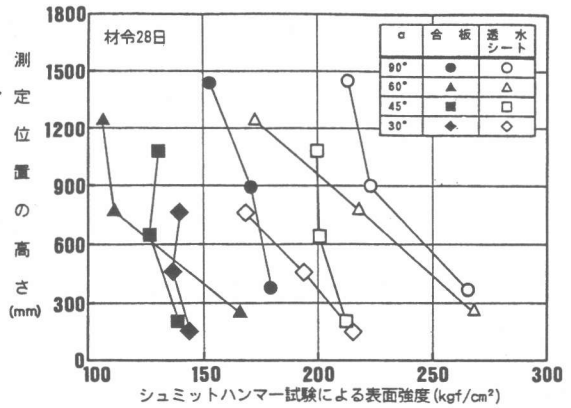


図-10 傾斜面における表面強度の推定値 (材令28日)

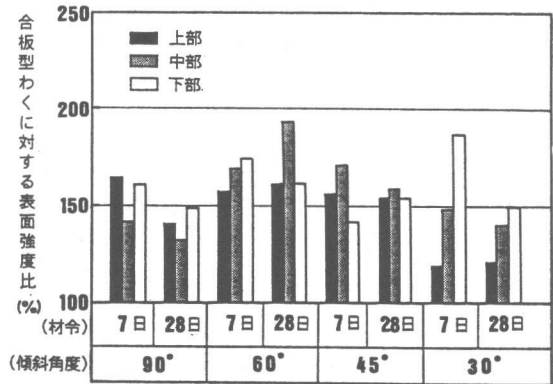


図-11 傾斜面における表面強度の増加率 (合板型枠=100)

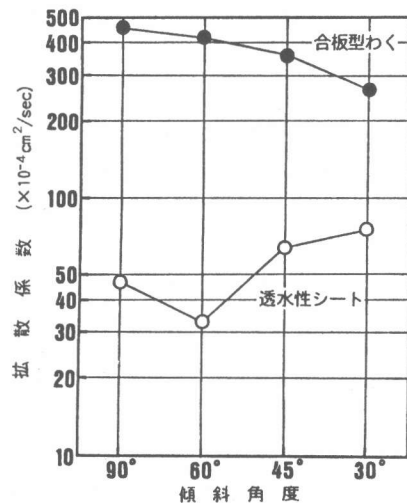


図-13 透水試験結果 (傾斜面)

と7cmとの位置の気泡分布を示す。いずれも、透水性シートを用いた場合の表面部の空気量は内部に比べて小さいが、気泡間隔係数は250 μm 以下であり、凍結融解作用に十分抵抗できるものと考えられる。また、深さにかかわらず直径400 μm 以下の気泡分布は、透水性シートを用いたものと合板型わくを用いたものと大きな差はない。振動締固めによって、打設時に混入するエントラップトエアの一部は、透水性シートを用いた場合、シートを通じ外部へ排出されるが、合板型わくを用いた場合は、コンクリート表面付近に空隙として残るものがあると考えられる。また、AE減水剤によって混入したエントレッドエアは、透水性シートによってはほとんど排除されないものと考えられる。

3.3.2 超音波伝播速度

図-15に透水性シートを用いた表面からの深さと超音波伝播速度(縦波)の関係を示す。超音波伝播速度は、コンクリート表面部の乾燥等の影響により、合板型わくを用いた場合は、一般的に表面部では内部に比べて遅くなる。一方、透水性シートを用いた場合には、表面から約10cmの範囲までは、内部に比べて速いか、同程度であった。よって、透水性シートによる脱水作用のために、内部が緻密化している範囲は、表面から10cm程度であると考えられる。

4. まとめ

実験の結果、次のことが明らかとなった

- ①強度発現の遅い中庸熱ポルトランドセメントなどを用いたコンクリートに透水性シートを適用した場合においても、表面強度の増加、あばたの減少、中性化の抑制、遮塩性、水密性の向上などの効果が確かめられた。
- ②透水シートを傾斜面に適用した場合においても、その効果が確認された。
- ③コンクリート表面のあばたは著しく減少し、表面部の空気量も減少するが、エントレッドエアはほとんど排除されないため、十分な凍結融解抵抗性を有すると考えられる。
- ④透水性シートによりコンクリート内部が緻密化される深さは約10cm程度であると考えられる。

《参考文献》1) 笠井、長野他「透水性型枠及び合板型枠を用いたコンクリートの品質判定に関する研究」コンクリート工学年次論文報告集10-2, 1988

2) 田沢、平他「繊維張付け型枠を用いたコンクリートの表面品質について」第42回セメント技術大会講演要旨, 1988

表-5 空気量および気泡間隔係数測定結果

角度	測定項目	硬化コンクリートの空気量(%)				気泡間隔係数(μm)			
		1cm	3cm	5cm	7cm	1cm	3cm	5cm	7cm
90°	型枠シート	1.9	2.9	5.4	4.5	180	181	136	142
	合板	7.0	3.4	5.0	2.9	102	138	121	174
60°	型枠シート	2.4	1.5	2.8	3.6	174	250	191	147
	合板	2.8	1.4	2.7	2.3	141	331	160	155
45°	型枠シート	2.3	3.1	3.7	2.6	199	134	140	219
	合板	3.5	1.5	2.5	3.1	122	212	146	179
30°	型枠シート	1.7	2.5	4.1	2.5	250	150	147	162
	合板	2.6	1.2	4.0	3.3	218	395	130	144

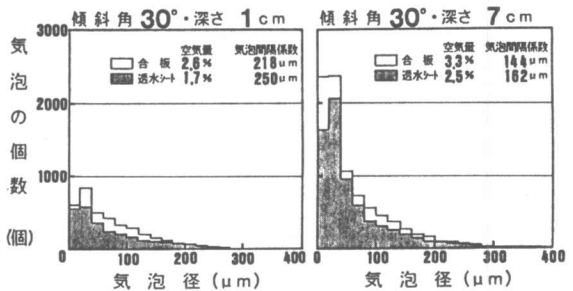


図-14 気泡分布測定結果

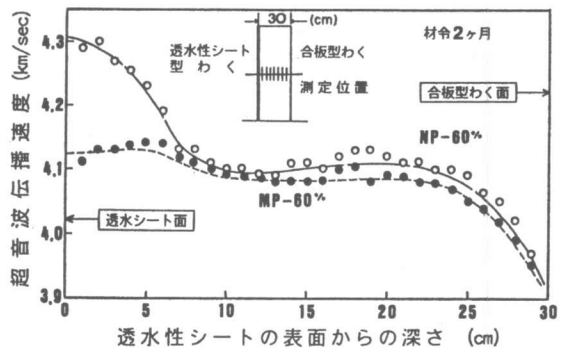


図-15 表面からの深さと超音波伝播速度の関係