

論文

[1041] コンクリートの表層強度に及ぼす各種要因の影響について

正会員○菅原 隆 (八戸工業高等専門学校)

正会員 庄谷 征美 (八戸工業大学 工学部)

正会員 佐伯 昇 (北海道大学 工学部)

1. はじめに

コンクリート構造物の表層部は耐久性と密接な関係にあることが従来より指摘され、種々の研究が行われている。^{1), 2), 3)}特に寒冷地においては外的要因の一つである凍結融解作用等により、スケーリングや低品質骨材の使用によるポップアウト等の表面剥離の被害を生じており、この様な被害が進行すればコンクリート構造物の信頼性を損うことにもなる。外的要因によるコンクリートの劣化が表面から内部へ進むと見た場合、表層部の品質がこれらの抵抗性に大きく関与しているものと考えられ、コンクリート表層部の力学的性状等を良く把握しておく必要がある。実構造物における表面剥離の被害状況を見ると中にはモルタルマトリックスと骨材との付着破壊によるものと思われる、厚さ数mm単位での剥離片が見られる。ここではこれら被害状況などからコンクリートの表層部に埋め込んだ鋼片を引き抜く方法により、コンクリート表層部の強度性状を調べたもので、セメント種類、配合、材令等の影響について明らかにしようと実験的に研究したものである。

2. 実験概要

(1) 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(N)、高炉セメントB種(BB)、フライアッシュセメントB種(FB)、中庸熱ポルトランドセメント(M)を用いた。骨材は川砂(比重2.62, 2.55, 吸水率3.19%, 3.69%), 川砂利(Gmax 25mm, 比重2.50, 吸水率3.69%), 碎石(Gmax 25mm, 比重2.71, 吸水率0.59%)を用いた。モルタルにおいては豊浦産の標準砂を用いたものである。混和剤として

表1 モルタルおよびコンクリートの配合

AE剤、高性能減水剤を混和材としてシリカフュームを用いた。

配合は表1に示すようにモルタルとコンクリートの違いによる表層強度を見るため、水セメント比50%とし材令28日で試験した(No.1, 2)。モルタルについて

セメント種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 C×%
			W	C	S	G	
N	45			389	683	978	
	50	40	175	350	696	996	0.02
	55			318	706	1011	
BB	45			333	723	1035	
	50	40	150	300	735	1052	0.06
	55			273	744	1065	
FB	45			344	707	1012	
	50	40	155	310	720	1030	0.04
	55			282	730	1046	

セメント 種 類	W/C (%)	単位量(kg/m ³)			AE剤 C×%
		W	C	S	
N	50	315	630	1131	0.03
BB	50	300	600	1178	0.06
FB	50	305	610	1123	0.04

(No.3 川砂・碎石使用のコンクリート)

セメント種類	W/C (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 C×%
			W	C	S	G	
N	55	46	160	291	819	1022	0.02
BB	55	42	158	287	748	1098	0.06
FB	55	42	155	282	758	1113	0.04
M	55	42	165	300	742	1089	0.03

(No.4 川砂・碎石使用のシリカフュームを用いたコンクリート)

セメント種類	W/(C+SF) (%)	S/a (%)	単位量(kg/m ³)				AE剤 (C+SF)×%	SP剤 (C+SF)×%	シリカフューム混入率(%)
			W	C	S	G			
N	55	46	160	291	819	1022	0.02	---	0
							0.03	0.3	5
							0.04	0.6	10
							0.06	1.0	15

SP剤:
(高性能減水剤)

は材令1年までの供試体を作製した。また水セメント比の違いを見るため、埋め込み鋼片の深さ・半径比 (h/a)を変えたものについては $W/C=45, 50, 55\%$ とした(No.1)。さらにセメントの種類を追加し、材令91日までのコンクリートの強度性状を見たものは水セメント比55%である(No.3)。シリカフェームを混入したものは水セメント比55%で、材令1年までの強度を調べたものである(No.4)。いずれもAEコンクリート(珪砂)であり、目標空気量5%、目標スランプ8cmとしたものである。

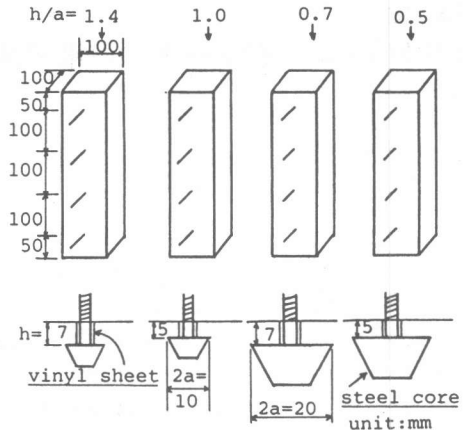


図1 供試体及び鋼片の形状

(2) 供試体作製

表層強度測定用の供試体は図1に示すように10x10x40cmの角柱で、打ち込み方向の型枠側面に直径(2a) 20mm、10mmの逆円錐台形鋼片を深さ(h) 7mm, 5mmとなるよう各々4本ずつセットしたものである。コンクリート中にあるボルト($\phi 3$ mm)部分には付着を切るためにビニールをまいてある。その他、圧縮強度、引張強度測定用として $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体も作製した。打ち込み後1~2日はビニールで湿潤養生し、その後所定の材令まで水中養生(20°C)を行った。

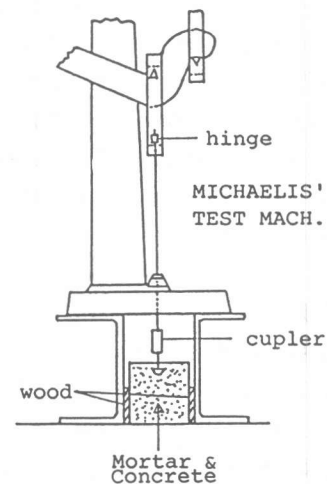


図2 表層強度測定装置

(3) 試験方法

表層強度の測定は図2に示すような、ミハエリス2重てこ式曲げ試験機を改良したものでボルト部分をカブラーと

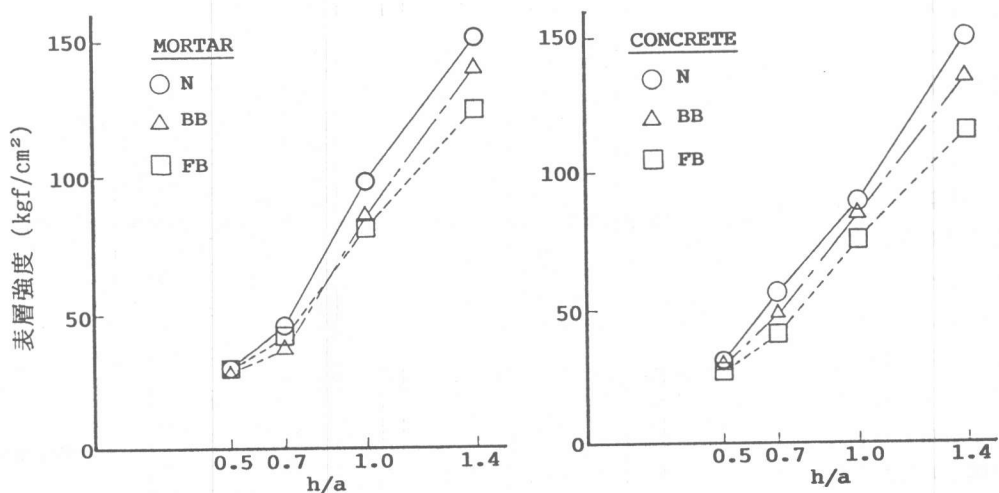


図3 h/a の違いによるモルタルとコンクリートの表層強度

連結して引き抜き、荷重の反力をとったものである。表層強度はてこ比を乗じた最大荷重を鋼片上端の断面積で除し、さらに破壊片の厚さを測定し、その時の強度と厚さ（4本のデータ）を最小二乗法で処理した後、所定の深さ（7mm, 5mm）に対応する表層強度として算出したものである。

3. 実験結果および考察

(1) モルタルとコンクリートの表層強度

図3は粗骨材の有無による影響について見るため、標準砂を用いたモルタルと川砂、川砂利を用いたコンクリートについて、埋め込み鋼片の深さ（ h ）と半径（ a ）を変化させて行ったときの表層強度を示してある。図よりモルタル、コンクリートとも h/a の違いによって表層強度は大きく変化していることが分かる。セメント種別による差異は h/a が大きくなるにつれてやや大きく、材令28日では N の値が混合セメントに比べて大きい。これら表層強度（ f_{ms} :モルタル、 f_{cs} :コンクリート）の h/a による変化を $f_{ms}(f_{cs})=A(h/a)^B$ の形で表してみると次の様になる。

セメント種	モルタル	コンクリート
N	$f_{ms}=91.6(h/a)^{1.63}$	$f_{cs}=93.1(h/a)^{1.53}$
BB	$f_{ms}=81.1(h/a)^{1.61}$	$f_{cs}=83.8(h/a)^{1.51}$
FB	$f_{ms}=78.4(h/a)^{1.45}$	$f_{cs}=73.1(h/a)^{1.45}$

粗骨材の有無による表層強度の違いを見るために（コンクリートの表層強度／モルタルの表層強度）より算出した値は N 全体では1.04, BB では1.06, FB では0.93となり材令28日におけるモルタルとコンクリートの表層強度にはあまり差のないことが分かった。

(2) 材令の違いによる表層強度

モルタル供試体を用い、 $h/a=0.5$ と 0.7 の場合について材令1年までの表層強度の変化について見たものが図4である。 h/a の違いによる強度差は大きいものの、強度の増加傾向はほぼ同じである。材令28日までどのセメントも大きな強度増加の傾向を示し、特に長期的には混合セメント： BB の増加割合が他に比べて大きいことが分かる。

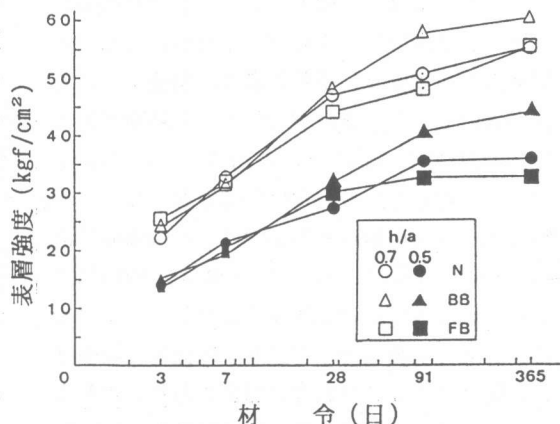


図4 材令の違いによる表層強度

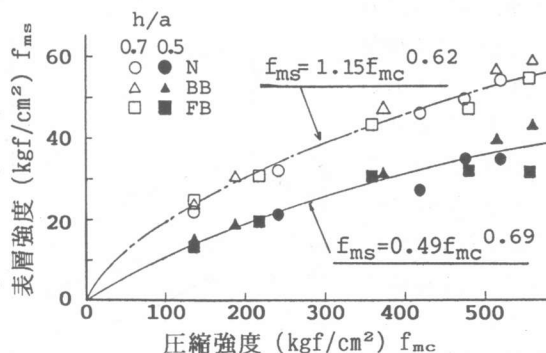


図5 表層強度と圧縮強度との関係

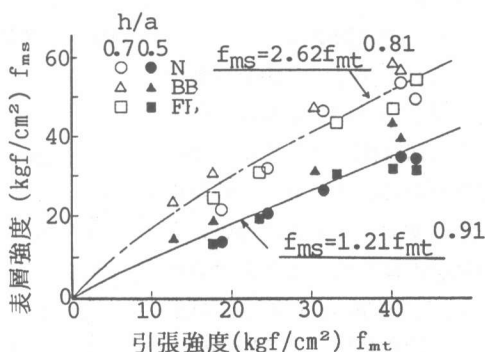


図6 表層強度と引張強度との関係

(3) 表層強度と圧縮強度、引張強度との関係

図5、6はモルタルを用いて行ったときの表層強度と圧縮強度、引張強度との関係について見たものである。それぞれセメント種別ごとに多少の違いはあるが、 $h/a=0.5, 0.7$ 別に全体で見ると両者とも比較的良好な相関性を示している。特に $h/a=0.5$ における表層強度と引張強度はほぼ直線的な関係にあることが分かる。図中にはそれぞれ実験における回帰式を示してある。また、これら表層強度と引張強度の比と圧縮強度との関係について見たのが図7であり、これより（表層強度／引張強度）比は圧縮強度に関係なく $h/a=0.5$ と 0.7

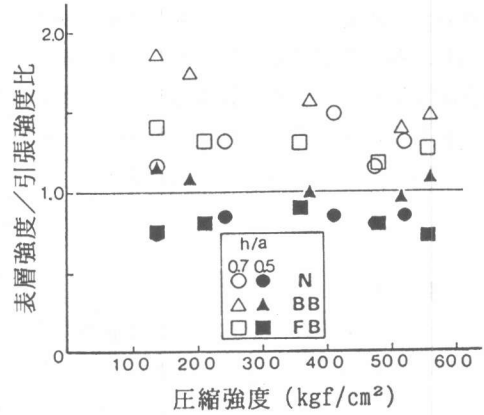


図7 表層強度／引張強度比と圧縮強度との関係

の間でほぼ 1.0 の値に近くなる傾向にある。以上のことから、モルタルの表層強度は h/a の値が $0.7 \sim 0.5$ の範囲にあるとき、引張強度とほぼ同じ値になるものと推察される。

(4) 水セメント比の違いによるコンクリートの表層強度

N、BB、FBのセメントを用いた、材令28日におけるコンクリートの表層強度について示したのが図8である。各セメント種類において、水セメント比の違いにより表層強度は変化することが分かる。 h/a の値が小さいときには水セメント比の違いによる影響はそれ程大きくないが h/a の値が大きくなるにつれて強度差も大きくなり、水セメント比の影響が大きく作用していることが分かる。

(5) セメント種別によるコンクリートの表層強度

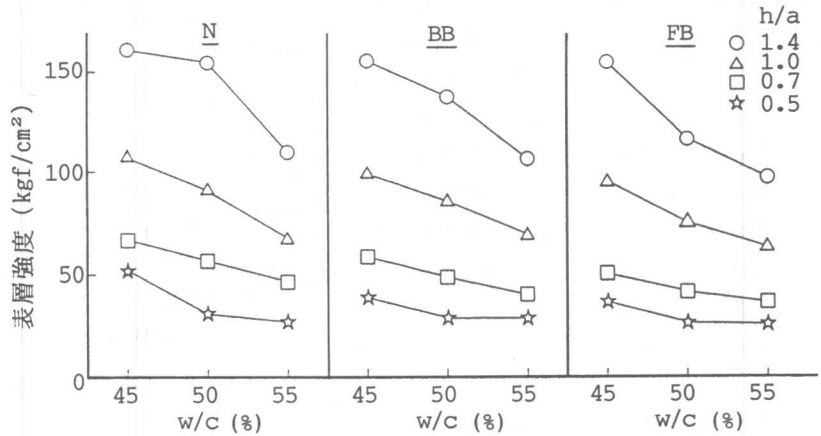


図8 水セメント比の違いによるコンクリートの表層強度

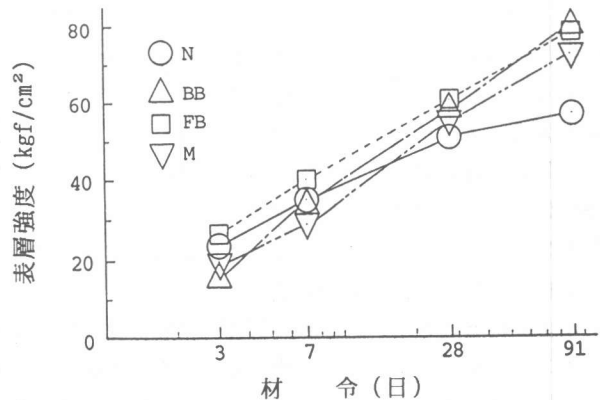


図9 材令の違いによるコンクリートの表層強度

セメント種類 (N, BB, FB, M) を変えて行ったときの表層強度について見たものが図9である。モルタルと同様に長期材令になると混合セメントを使用したものが強度増の傾向を示した。材令91日において、Nに比べBBでは1.40倍、FBでは1.38倍、Mでは1.27倍の値となっている。これらコンクリートの (圧縮強度/表層強度) の比と圧縮強度との関係について見たのが図10である。圧縮強度の増加に比べ表層強度の増加割合はやや小さく圧縮強度が300kgf/cm²前後で比率はほぼ一定の値を示すような傾向にある。

また、表層強度と引張強度との関係について見たものが図11である。使用したセメントは混合セメント (BB, FB, M) である。セメント種別ごとに多少の違いはあるが全体で見た場合、表層強度と引張強度はほぼ直線的な関係にあり、碎石使用コンクリートの表層強度は引張強度の約2.00~2.50倍程度であることがわかる。

(6) シリカフュームを混入したコンクリートの表層強度⁴⁾

水セメント比 55%一定でシリカフュームの混入率を 0, 5, 10, 15% と変えたときの表層強度を示したのが図12である。いずれも材令28日までは大きな強度増加の傾向を示し、その後材令91日まで緩やかな強度の増加が見られるものの、その後はあまり強度の増加が見られない。材令91日におけるシリカフューム混入の影響について見ると、シリカフュームを5%混入することにより、無混入のものに比べて1.12倍、10%で1.11倍、15%で1.09倍程度強度の増加することが分かった。

以上の様にコンクリート表層部の力学的性状についてセメントの種類、配合、材令による違いについて実験的に検討したが、コンク

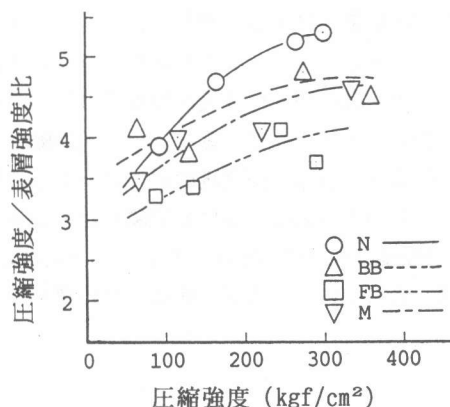


図10 圧縮強度/表層強度比と圧縮強度との関係

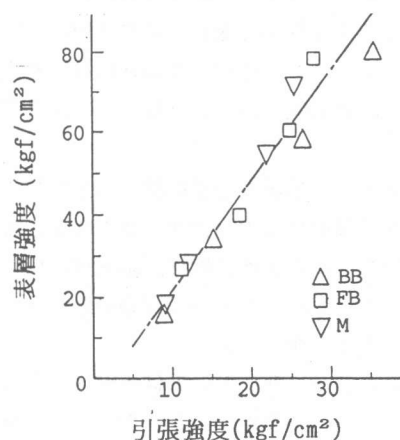


図11 表層強度と引張強度との関係

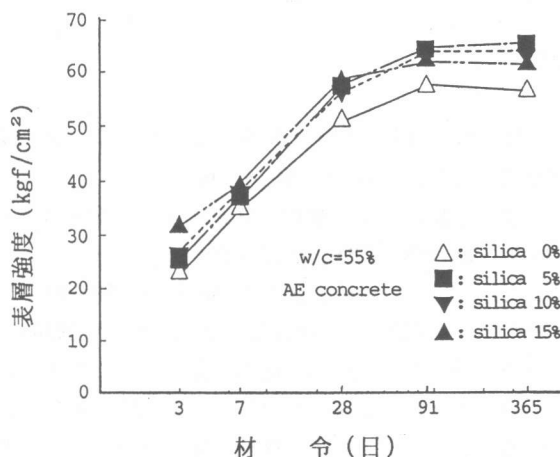


図12 シリカフュームコンクリートの表層強度

リートの表層強度は材令、水セメント比、セメントの種類によって、さらに埋め込み鋼片の h/a 比によって大きく変化することがわかった。コンクリートの表層部あるいは表面部の改良という点からは養生条件の違いや表面被覆等のデータを蓄積することが必要と思われる。そこで表層部の改良という点から一部、養生シート（剥離シート：ポリプロピレン系不織布1枚と吸水シート：吸水性高分子樹脂を薄葉紙の中にセットし2枚一組としたもの）を表層強度測定面に使用しコンクリートの表層強度について実験したところ、材令14日（湿潤養生）において未使用に比べ約1.47倍程度の強度増加を示した。⁵⁾ 今後はこれら養生シートを使用したコンクリートの表層部の諸性質についても検討を進める必要がある。

4. まとめ

セメントの種類、水セメント比、材令、混和材、埋め込み鋼片の h/a 比を変えて行った本実験の範囲内で次のようなことが言える。

(1) 埋め込み鋼片の深さ・半径 (h/a) 比によって表層強度は大きく変化し、 h/a 比が大きくなるにつれてセメント種別による違いはやや大きくなる傾向にあること、また材令28日におけるモルタルと川砂利使用のコンクリートの表層強度はほぼ同じ値を示し、あまり差のないことが分かった。

(2) モルタルの表層強度は材令の違いによって変化し、混合セメントを用いた場合長期的にはNに比べて強度増加の割合が大きくなることが分かった。

(3) モルタルの表層強度は圧縮強度、引張強度と良い相関を示し、引張強度とは直線的な関係にあること、 h/a 比が0.5~0.7の範囲において表層強度は引張強度と同じような強度を示す傾向にあることが分かった。

(4) コンクリートにおいては水セメント比の違いによって表層強度は変化し、 h/a の値が大きくなるにつれて強度差が大きくなること、材令の違いや、圧縮、引張強度との相関はモルタルの場合と同様の傾向を示すことが分かった。

(5) シリカフュームを混和材として用いた場合、5%程度混入することにより材令別で違いはあるが表層強度が約1.08~1.17倍程度増加することが分かった。

参考文献

- 1) 菅原 隆、佐伯 昇：モルタルとコンクリートの表層強度に関する2、3の実験、セメント技術年報 38、1984、pp.301~304
- 2) 地濃 茂雄、仕入 豊和：コンクリート表層部 その養生条件と細孔構造、セメント・コンクリート No.468、1986、pp.8~17
- 3) T.Sugawara, N.Saeki and M.Shoya: EXPERIMENTAL STUDIES ON SURFACE LAYER STRENGTH OF MORTAR AND CONCRETE, PACIFIC CONCRETE CONFERENCE, Vol 2, 1988, pp.493~500
- 4) 菅原 隆、庄谷 征美、佐伯 昇：シリカフュームを用いたコンクリートの表層強度と耐久性について、セメント・コンクリート論文集 43、1989、pp.364~369
- 5) 菅原 隆、庄谷 征美、佐伯 昇：コンクリートの表層強度による耐凍害性の評価、第44回セメント技術大会講演集（投稿中）、1990