

論 文

[1028] 膜養生剤によるコンクリート表層強度の向上に関する研究

正会員 上村克郎（宇都宮大学工学部）

正会員 ○橋高義典（宇都宮大学工学部）

小西敏正（宇都宮大学工学部）

1. はじめに

コンクリート表面のポップアウト、剥落などは、コンクリート片落下による危険性だけではなく、構造部材の耐力低下にも結びつくため、鉄筋コンクリート構造物の耐久性を考えるうえで重要な問題となる。これらの原因には、中性化による鉄筋発錆、アルカリ骨材反応、凍結融解などの種々の内部膨張による劣化を挙げることができるが¹⁾、このようなコンクリート表層部の膨張破壊は表層部の強度、特に引張強度に依存するといえる。

本研究は、鉄筋コンクリート部材の耐久性にかかる表層部の耐力向上を目的とするものであり、型枠脱型後のコンクリートからの水分散逸を制御する方法として膜養生剤に着目し、それがコンクリート表層部（5~20mm）の強度に及ぼす影響について考察した。耐久性にかかる表層部の強度を評価する方法は、コンクリート表層部へ埋込んだボルトの引抜き試験²⁾とし、各種条件の試験体についてボルト引抜き耐力ならびにそれより推定される表層部の引張強度を求めた。

2. 実験方法

本研究で使用する膜養生剤は4種とし、いずれもエマルションタイプとした。それらはポリマーの種類を変え、造膜後の透湿度に段階をつけた。膜養生剤の性質を表-1にまとめて示す。透湿度の測定はJIS Z-0208に従つた。使用

したコンクリートの性質を表-2に示す。

表-1 膜養生剤の性質

Symbol	Polymer	Total Solids (%)	Viscosity 20°C (cp)	Particle Size (μm)	pH 20°C	Vapour Permeance W(g/24·m²)
A	PVdC	43.4	7	0.19	2.7	20
B	EVA	50.9	1438	0.46	5.4	227
C	EVA, VC	54.9	1550	0.64	6.0	280
D	ST-Ac	45.1	5650	0.21	8.8	1400

コンクリート試験体は15×45×30cmの直方体とし、その側面にボルトを埋込み、引抜き試験を行うこととした（図-1）。ボルトの埋込み深さは、5、10、20mmの3種とし、一つの供試体での埋設は各埋込み深さにつき6箇所ずつ計18箇所とし、あらかじめボルトを設置した型枠にコンクリートを打設した。ボルト埋込み部周囲はグリス塗布のパイプとしコンクリートと付着が生じないようにした（図-2）。コンクリート打設2日後脱型し

表-2 コンクリートの調合

W/C (%)	S/a (%)	Mix Proportion (kg/m³)				AE agent (g/m³)	SL (cm)	Air Content (%)
		Cement	Water	Fine-Agg Max 5mm	Coarse-Agg Max 20mm			
60	42.5	295	177	748	1040	118	18	4.0

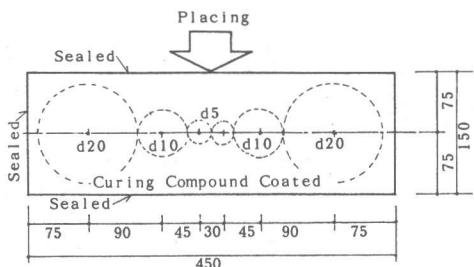


図-1 供試体正面図(mm)

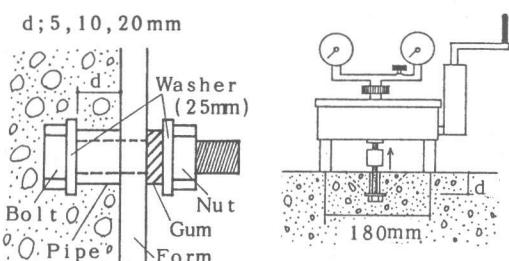


図-2 ボルト詳細

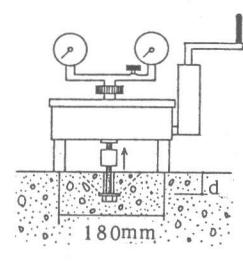


図-3 引抜き試験機

ボルトを埋込んだコンクリート面に膜養生剤を一定塗厚で塗布した。試験体の上下面はエポキシ樹脂を塗布し完全密封とし、柱等から切り出した部材を想定した。比較のために型枠脱型後、ボルト埋込み面を無塗布状態としたもの、サランラップによりシールしたものを作製した。試験体は20°C、RH40%の恒温恒湿槽内に放置した。ただしサランラップによりシールした供試体は20°Cにて湿空養生とした。材令7、14、28、91日に埋込みボルトの引抜き試験を行つた。

ボルトの引抜き試験は図-3に示す手動式の引抜き試験機を行い、引抜き耐力は3箇所の平均値で示した。試験装置の反力支持脚のスパンは、ボルト引抜き試験でのコーン状破壊が影響しない位置を考慮し、18cmとした。

3. 実験結果と考察

3-1 ボルト引抜き耐力

引抜き試験結果を表-3にまとめて示す。

測定値の変動係数は埋込み深さが小さいほど大きくなる傾向にある。これは、ボルトの埋込み精度、コンクリート表層部の骨材分布の不均一性等に起因するものと思われる。

各埋込み深さでの材令と引抜き耐力との関係を図-4に示す。埋込み深さが深いほど当然ではあるが耐力は大きくなる。無塗布材令91日での20mmと5mmでの耐力では約7倍ほどの差がみられる。このことは、コンクリート表層部の膨張破壊が表面に近いほど発生しやすいことに対応すると考えられる。

いずれの埋込み深さにおいても、シール状態のものが耐力が最も大きく、次に膜養生剤を塗布したもの、最も弱いものが無塗布となる。また、初期材令では養生方法による差はあまりなく、材令の経過とともに差が大きくなる傾向にある。特に埋込み深さ20mm、材令91日の結果を見ると、養生方法による耐力の差が明確であり、無塗布に比べ膜養生剤の塗布による耐力向上の効果が見られる。

シール養生および膜養生材を塗布した供試

表-3 引抜き試験結果

材令	7日			14日			28日			91日			
	測定 値 (kg)	平均	変動 係数 (%)	測定 値 (kg)	平均	変動 係数 (%)	測定 値 (kg)	平均	変動 係数 (%)	測定 値 (kg)	平均	変動 係数 (%)	
埋 め 込 み 深 さ	シ ー ル 85 77 70	77	8.0	105 115 110	88	3.7	125 100 98	12.0	80 80 80	120 120 120	27.2		
	無 塗 布 40 40 40	40	0.0	30 30 30	30	0.0	40 48	47	13.1	80 80 80	27.2		
	A B C	65 52 35	13.1 32.7 35.4	85 75 75 58	83 83 80 58	29.2 34.7 4.1	90 81 83 74	13.2 32.0 10.5	75 70 85 85	75 60 82	0.0 8.3 20.1		
	D	35	38	12.4	52	2.4	30 50	50	32.7	40	50	18.3	
	シ ー ル 120 120 130	133	3.8	200 170 220	190	7.4	210 202	225	12.0	398 355 400	384	5.4	
	無 塗 布 120 130 135 185	130	19.8	85 95 120	95	29.5	98 182 142	21.9	140 145 143	140 145 143	1.8		
	A B C	145 160 130	8.4	155 185 185	162	10.5	210 123 187	21.3	185 185 187	185 200 187	8.3		
	D	130 185 182	18.4	80 230 167	38.0	154 187 183	148 148	10.5	140 155 147	140 147 147	4.2		
	10 材 令	175 180 170	4.1	120 165 142	142	12.9	185 157 143	17.9	240 240 240	240 240 240	0.0		
	125	123	11.7	175	175	2.3	100 170 135	21.2	170 180 182	170 182 182	11.9		
埋 め 込 み 深 さ	シ ー ル 390 450 410	410	8.9	558 555 541	1.9	563 538 538	560 3.7	580 570 580	580 580 580	580 580 580	1.4		
	無 塗 布 300 350 322	322	8.5	380 380 370	378	1.6	420 350 315	14.7	377 377 375	377 377 375	0.1		
	A B C	395 390 388	1.6	500 465 473	4.1	475 490 473	3.1	590 580 577	590 580 577	590 580 577	5.1		
	D	440 410 415	6.5	430 455 438	2.7	455 450 507	13.4	470 510 513	470 510 513	470 510 513	7.2		
	20 材 令	370 310 350	8.1	350 450 392	10.8	508 395 395	18.1	475 488 488	475 510 510	475 510 510	3.2		
	345 370 360	365	3.0	450 340 385	12.2	390 470 446	8.8	570 480 483	570 480 483	570 480 483	11.7		
	385			365		477		420		420			

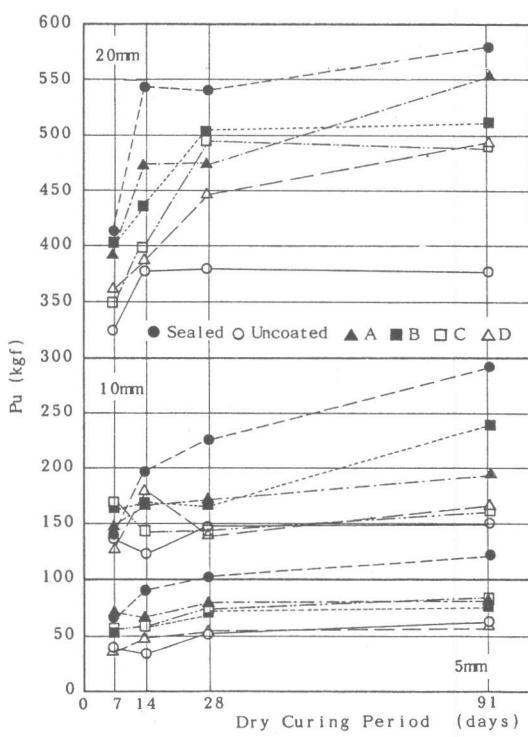


図-4 引抜き耐力 (P_u) と材令との関係

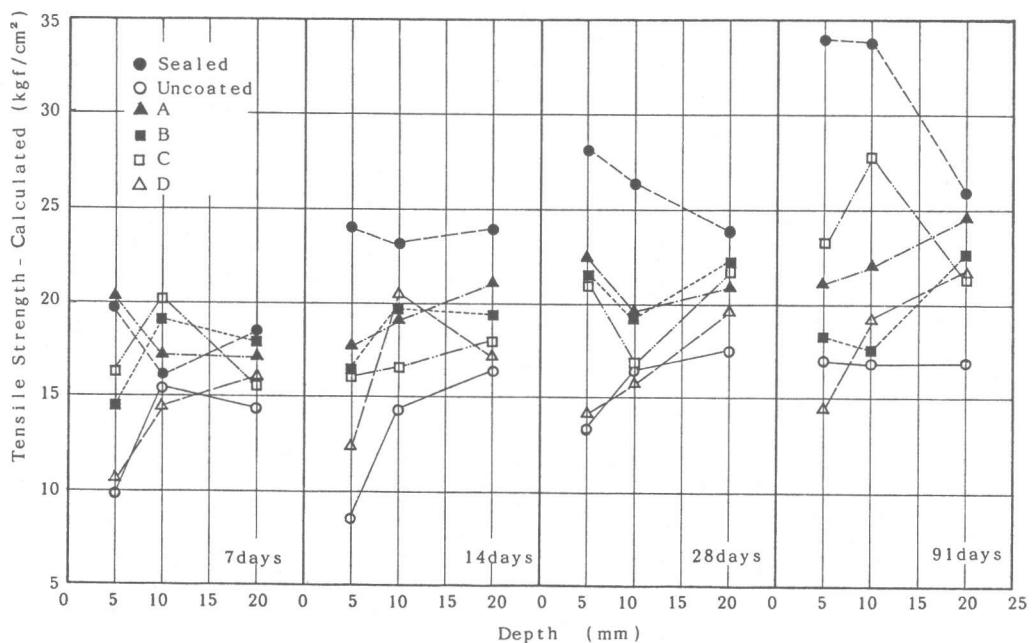


図-5 コンクリートの表面からの距離と引張強度推定値との関係

体は材令とともに耐力が増加するが、無塗布のものは材令14日以降の耐力の増加がみられない。これは無塗布状態では初期材令においてコンクリート表面からの水分散逸が大きく、水和反応の進行が阻害されるためと思われる³⁾⁴⁾。したがって、脱型直後のコンクリートが無処理のまま急激な乾燥を受けると、その表層部は強度の増進があまり期待できない。

3-2 コンクリート表層部の強度分布

ここでは、上記のボルト引抜き耐力から、コンクリート表層部の強度を推定し、その分布状態の特徴を考察する。

埋込みボルトの引抜き耐力からコンクリート強度を推定する研究は古くから行われているが⁵⁾、試験体の平均強度を求めるものが多く、表層 2 cm 以内の強度を推定した例は少ない。

今回は耐久性にかかわる表層部の引張強度に着目し、それを推定する方法として、ボルト引抜き時の弾性応力分布およびそれより仮定される主引張応力分布から耐力を推定する河村⁶⁾の方法を参考にした。なお、本法による推定値はコンクリートの広範囲な条件においても、割裂引張り強度と相関があることが筆者らにより確認されている⁷⁾。

引抜き耐力 (P_u) と引張強度 (σ_t) との関係式は以下のとおりである。

$$P_u = \pi \sigma_t (0.720 \cdot a \cdot h + 0.897 \cdot h^2) \quad \text{--- (1)}$$

a =定着金具外径、 h =埋込み深さ

表-2 に示した各供試体の引抜き耐力の測定値 (P_u) から (1) 式によりボルト埋込み部のコンクリート引張強度推定値を求めた。

コンクリートの表面からの距離と引張強度推定値との関係を図-5 に示す。シール状態のものが最も強度が大きく、また、無塗布よりも膜養生剤塗布の方が強度が大きい傾向にある。シール

以外では表面に近づくほど強度は小さくなる傾向があり、特に無塗布で顕著である。また膜養生剤塗布による強度の向上は表面に近いほど大きな効果があるといえる。

表面部の強度低下の原因は、表面に近いほど乾燥による水和の阻害が起こりやすいためと考えられるが、図中には表面の方が強度が大きい場合もあり、必ずしも水分の蒸発が強度低下に結び付くとはいえない。この点は含水状態と強度の関係からの考察が必要である⁸⁾。

図-6に、膜養生剤の透湿度（W）と引張強度推定値との関係を示す。これによると透湿度が大きいほど強度が低くなる傾向がある。また、その傾向は表面に近い部分ほど顕著といえる。これは膜養生剤の透湿度が大きいほど、表層部からの分散逸が多く、十分な水和反応が行われないためと考えられる。したがって、脱型後のコンクリート表層部の強度を膜養生剤により向上させるためには、透湿度が小さく水分の保持性能の高い膜養生剤が有効と考える。

4.まとめ

- 1) 各種養生条件のコンクリート供試体について、表層部の埋込みボルトの引抜き耐力を求めた結果、各埋込み深さにおいて、シール状態のものが耐力が最も大きく、次に膜養生剤を塗布したもの、最も弱いものが無塗布となつた。膜養生剤塗布と無塗布との差は初期材令では小さく、材令の経過とともに大きくなる傾向があつた。
- 2) 引抜き耐力より表層部の引張強度を求めた結果、表面に近いほど引張強度は低くなる傾向があり、特に無塗布のもので顕著であった。膜養生剤塗布による強度向上の効果は表面に近いほど大きかつた。
- 3) 透湿度が低い膜養生剤ほどコンクリート表層部の強度は大きくなる傾向があつた。

謝 辞 実験に協力頂いた本学卒論生寺田健一氏に感謝致します。

参考文献

- 1) 魚本、西村、A.ヘトラ：アルカリ骨材反応によるコンクリートの膨張機構に関する一考察、セメント技術年報、42、1988、pp.339～342
- 2) 菅原、佐伯：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
- 3) 永松、武田、佐藤：若材令時より乾燥をうけるモルタル部材の圧縮強度の内部分布について、日本建築学会構造系論文報告集、No.365、1986.8、pp.27～38
- 4) 地濃、平野、仕入：養生条件とコンクリート表層部の細孔構造、セメント技術年報、38、1984、pp.268～269
- 5) 森田、小松、近藤：引抜き試験によるコンクリート推定強度への諸要因の影響、セメント技術年報、37、1983、pp.217～220
- 6) 河村：プレキャスト鉄筋コンクリート構造接合部耐力についての基礎的研究、日本建築学会構造系論文報告集、No.353、1985.7、pp.1～11
- 7) 上村、小西、橋高：メカニカルアンカーボルトの引抜き耐力に及ぼすコンクリート母材の性質、第8回コンクリート工学年次講演会論文集、1986、pp.405～408
- 8) 岡島、石川：表面エネルギーからみたセメント硬化体強度の含水率依存性、セメント技術年報、35、1981、pp.130～133

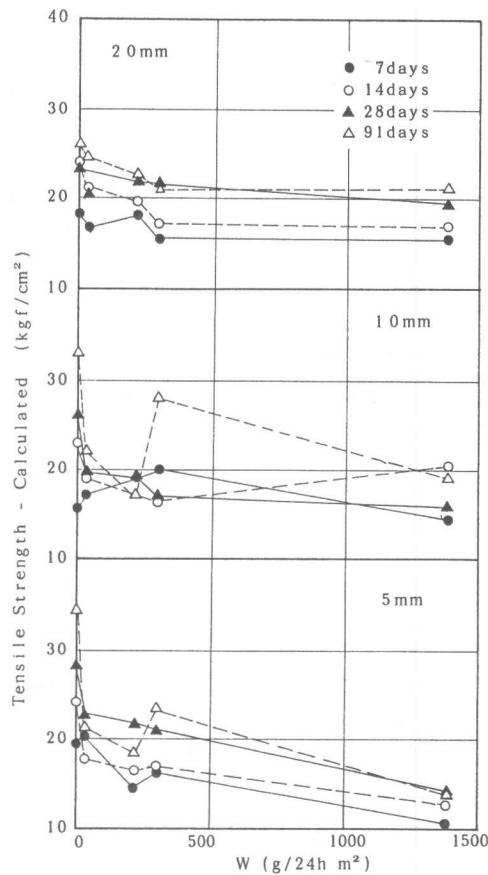


図-6 膜養生剤の透湿度（W）と
引張強度推定値との関係