

港湾技術資料

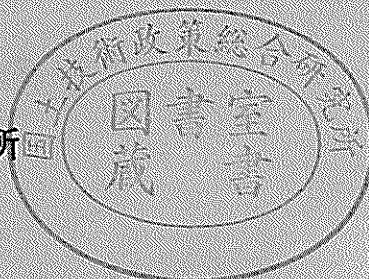
TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

No. 3 June, 1963

- 被膜養生剤がコンクリートの強度
におよぼす影響に関する研究.....小 宮 山 正 文
- 防水混和剤がモルタルおよび
コンクリートの諸性質におよぼす影響.....森 口 拓
木 村 茂 雄
- プレキャスト・コンクリート工法に関する
資料調査報告(第一報).....赤 塚 雄 三

昭和 38 年 6 月

運輸省港湾技術研究所



防水混和剤がモルタルおよびコンクリートの諸性質におよぼす影響

森 口 拓*・木 村 茂 雄*

Effect of Waterproofing Admixture on Properties of Mortar and Concrete by Hiraku Moriguchi and Shigeo Kimura

This paper presents the results of a study on the effects of Hydropel, one of waterproofing admixtures, on the strengths, absorption, shrinkage and resistance to sulphates of mortar and concrete and on the bleeding of concrete.

From the results, it may be observed that Hydropel entrains so much air that the workability of either mortar or concrete is improved considerably, consequently resulting in reduction of bleeding, and that Hydropel-treated mortar and concrete are less absorptive than plain mortar and concrete. It may be also noticed that Hydropel has prominent adverse effects which reduce the strengths and increase the shrinkage of mortar and concrete by considerable amount.

The authors conclude that Hydropel may be employed as an admixture for the concrete, of which major function is assumed to be waterproofing, and suggest that the present dosage of Hydropel recommended by the producer contains too much adverse effects to be employed in concretes for marine structural members required to have high strengths.

§ 1. 緒 言

モルタルおよびコンクリートは、本質的には多孔質のもので吸水および透水を許す多くの要素を内蔵している。また、セメントと水との水和によってできたゲル相が水を吸収すると体積が増し、逆に乾燥すると体積が減ることによって、モルタルおよびコンクリートには体積変化が生じ、モルタルおよびコンクリート構造物に種々の悪影響をおよぼすのである。たとえば、コンクリートが地盤、鉄筋、他の部材との連結などにより自由に膨脹、収縮できないように制限されていると、2次応力が生じひびわれの発生する原因となるのである。また、海水、酸、アルカリ、凍結融解などの作用によりコンクリートが腐食あるいは崩壊される主な原因の一つは、水密性の不足にある場合が多い。

したがって、地下構造物、水中構造物などというまでもなく、すべてのコンクリート構造物構築の際、水密性の大きいコンクリートをつくることはきわめて大切である。コンクリート構造物を水密的にするには、コンクリート自体を水密にするのが最良の方法であるが、その他に防水工、防湿工が用いられる。ここに、モルタルおよびコンクリートに水が浸透する機構を考えると、毛細孔を通しての毛管現象によるもの、毛細孔からの静水圧による加圧によるものおよび湯気のような蒸気によるものなどがあげられるが、これらの作用を軽減する目的でセメントに防水性物質を混合したり、構造物の表面に防水性物質を塗布したりしてコンクリート構造物を水密にしようとするのである。

本文は、市販されているアスファルト系防水混和剤の一種であるハイドロペルをとりあげ、これを普通ポルトランドセメントに混入した場合、それがモルタルおよびコンクリートの諸性質におよぼす影響について、ハイド

* 構造部材料施工研究室
Materials Laboratory, Soil and Structure Division

ロペルを混入しないモルタルおよびコンクリートと比較実験した結果をまとめたものであり、実験は1962年9月より1963年2月までの間に港湾技術研究所材料施工研究室において行われた。

本実験の資料解析にあたっては、当研究室赤塚雄三、善一章両研究員の指導を仰いだ。ここに深謝の意を表す次第である。

§ 2. 使用材料

用いたセメントは、小野田セメントK.K. 田原工場製の普通ポルトランドセメントで、その試験成績は表2-1に示す通りである。

表2-1 セメントの諸性質

比重	粉末度		凝結		安定性 浸水法	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)	
	ブレン (cm ² /g)	88μ (%)	始発 (時—分)	終結 (時—分)			7日	28日	7日	28日
	3.15	3150	1.2	2-50	5-40	良	222	42.0	55.3	215

砂は、鶴沼海岸産の海浜砂で、その比重は2.65、吸水量は2.17%、粒度は表2-2に示す通りである。砂の使用にあたっては、湿潤状態で貯蔵したものを表面水量を測定してこれを用いた。なお、モルタルを用いた試験には、豊浦標準砂を使用した。

砂利は、酒匂川産のもので、その比重は2.78、吸水量は2.16%で、使用にあたってはあらかじめふるい分けたものを表2-3に示す粒度に配合し、表面乾燥飽和状態にしてこれを用いた。

表2-2 用いた砂の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	ふるいを通る量の重量百分率
5	100
2.5	90
1.2	78
0.6	60
0.3	22
0.15	1
粗粒率	2.49

表2-3 用いた砂利の粒度

ふるいの呼び寸法 (mm)	ふるいを通る量の重量百分率
25	100
20	80
15	50
10	25
5	0
粗粒率	6.95

ハイドロペルは、アメリカン・ビチュマルス会社製のもので、褐色の、コロイド状アスファルトの水性懸濁液である。その比重は、1.03、蒸発残留物は55.8%、エングレー度(25°C)は32である。

§ 3. モルタルおよびコンクリートの配合

用いたモルタルおよびコンクリートの配合は、それぞれ表3-1および表3-2に示す通りである。コンクリートの配合については、鉄筋コンクリート構造物であるケーソンに用いるコンクリートの配合を参考としてこれを定め、粗骨材の最大寸法を25mm、スランプ14~16cm、水セメント重量比は耐久性を基準にして53%とした。なお、ハイドロペルは水の一部と考えて水セメント比を計算し、その混入率は製造者の資料を参考し、セメント重量の重量百分率で13.7%とした。

表3-1 用いたモルタルの配合

配合番号	セメント：砂	水セメント比 (%)	フ ロー (mm)		空 気 量 (%)	
			混 和 材 料		混 和 材 料	
			用いない	ハイドロペル	用いない	ハイドロペル
1	1 : 2	65	222	222	2.4	23
2	1 : 3	65	—	—	9.7	29
3	1 : 2	60	210	183	2.5	28
4	1 : 5	50	—	—	—	—

表3-2 用いたコンクリートの配合

混 和 材	粗骨材の最大寸法 (mm)	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	水セメント比 (%)	絶対骨材率 (%)	細骨材率 (%)	単位骨材量 (kg)	粗骨材量 (kg)	スランプ (cm)	空 気 量 (%)	単位混和材 (kg)
用いない	25	335	178	53	37	720	1184	15.4	1.9	—	
ハイドロペル		298	158								609

§ 4. 試 験 方 法

4.1 モルタルおよびコンクリートの練り混ぜ

モルタルの練り混ぜは、1バッチの量を約1.8ℓとして、改良ホバード型モルタルミキサ（容量3ℓ）（丸東製作所KK製）を用いてこれを行った。その方法はASTM C 305（水硬セメントモルタルの機械的混合方法）の規定に準じ、ハイドロペルは水の一部としてこれを取り扱った。

コンクリートは、表3-2に示す配合のものを1バッチの量を20~50ℓとして、可傾胴型2切ミキサを用いて、全材料投入後3分間これを練り混ぜた。ハイドロペルは、水に加えて水の一部としてこれを用いた。

4.2 空気量試験

モルタルについては、ASTM C 185-59（水硬セメントモルタルの空気量試験方法）に準じた方法で試験した。すなわち、内容積400ccのステンレス・スチール製直円筒型容器に、所定の練り混ぜたモルタルを3層にわけて詰め、各層10回ずつ突き棒（JIS R 5201（セメントの物理試験方法）の9.7）を用いてその先端がモルタル中に約4mm入る程度に全面にわたって突き、木づちでモルタル表面が平らになる程度に容器の外側をたたく。次に、最上層の余分のモルタルを、セメントナイフでかきとってならし、容器の外側についているモルタルをぬぐい取って容器中のモルタルの重量を計り、この試料重量と容器容積とからモルタルの比重を求める。そして、空気量は次式を用いて計算する。なお、試験は2回これを行い、結果はその平均値である。

$$A = \frac{\rho - \rho_0}{\rho} \times 100$$

ここに、A：モルタル中の空気量（％）

ρ ：空気が全くないものとして計算したモルタルの比重

ρ_0 ：上記試験で求めたモルタルの比重

コンクリートの空気量測定は、JIS A1116（コンクリートの単位容積重量試験方法および空気量の重量による試験方法）に準じてこれを行った。

4.3 強 度 試 験

(1) モルタルの強度試験

用いたモルタルは表3-1の配合番号1のもので、これを練り混ぜた後、フロー（JIS R5201の8.4）およ

び空気量(本文 4・2)の試験をするとともに供試体を製作した。

(a) 圧縮強度 供試体は、 $4 \times 4 \times 16$ cmの曲げ試験用供試体のはり折片を使用し、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、材令7日および28日において20トン圧縮試験機を用いて試験した。試験方法はJIS R5201に準じ、供試体6個の試験値の平均値をもって強度とした。

(b) 曲げ強度 供試体は、 $4 \times 4 \times 16$ cmの角柱形とし、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、材令7日および28日において20トン圧縮試験機を用いて試験した。試験方法はJIS R5201に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって強度とした。

(2) コンクリートの強度試験

表3-2に示す配合のコンクリートを練り混ぜた後、スランプおよび空気量(重量方法)を試験するとともに供試体を製作した。

(a) 圧縮強度 供試体は直径15cm、高さ30cmの円柱形とし、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、材令28日において100トン万能試験機を用いて試験した。試験方法はJIS A1108(コンクリートの圧縮強度試験方法)に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって強度とした。

(b) 曲げ強度 供試体は、 $15 \times 15 \times 55$ cmの角柱形とし、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、材令28日において20トン圧縮試験機を用いて試験した。試験方法は、JIS A1106(コンクリートの曲げ強度試験方法)に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって強度とした。

(c) 引張強度 供試体は、直径15cm、高さ約20cmの円柱形とし、 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、材令28日において20トン圧縮試験機を用いて試験した。試験方法は、JIS A1113(コンクリートの引張強さ係数試験方法)に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって強度とした。

(d) 付着強度 供試体は、 $15 \times 15 \times 55$ cmの角柱形とし、その製作方法は、 $15 \times 15 \times 55$ cmのコンクリート曲げ強度試験用型わくの中央を水密に仕切り、片側にコンクリートを詰めて24時間の硬化期間を置いた後、仕切りを取り除き、仕切り板に接したコンクリート表面を所定の方法で処理して新コンクリートを打ち継いだ。所定の打継目処理方法とは、旧コンクリート打継面のモルタルをたわしで洗い落とし表面のみ乾いた状態にしておくもの、旧コンクリート打継面をワイヤブラシで約2mm削り取って粗にし表面のみ乾いた状態にしておくもの、の2つである。供試体は、これを $21 \pm 3^\circ\text{C}$ の水中で養生した後、新コンクリートの材令28日において20トン圧縮試験機を用いて曲げ強度試験を行い、打継目の曲げ強度をもってコンクリートの付着強度とした。試験方法は、JIS A1106に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって強度とした。

4・4 吸水試験

用いたモルタルは表3-1の配合番号2のもので、これを練り混ぜた後、空気量(本文 4・2)の試験をするとともに $4 \times 4 \times 16$ cmの角柱形供試体をJIS R5201に準じて製作した。この際、モルタルはほとんど流動性がなく、フロー試験は無意味と考えられたのでこれを行わず、各層を20回ずつ突き固めた。

コンクリートについては、表3-2に示す配合のものを練り混ぜた後、スランプおよび空気量(重量方法)の試験をするとともに $10 \times 10 \times 40$ cmの角柱形供試体をJIS A1125(モルタルおよびコンクリートの長さ変化試験方法)に準じて製作した。

供試体は、成形後48時間経て脱型し、その後温度 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 5\%$ の恒温恒湿室で17日間養生し、その重量を測定した。次に、 $80 \sim 85^\circ\text{C}$ で48時間電気炉にて乾燥した後、供試体の重量を測定した。このときの重量を乾燥時の重量とする。引続き供試体は、所定の方法でこれを浸水させ、温度 $21 \pm 3^\circ\text{C}$ 、湿度 $85 \pm 5\%$ の恒温恒湿室内に保存した。所定の方法とは、供試体を水槽中(水深約30cm)に浸漬して水中静置の状態ですべて全面より吸水させる方法、供試体成形の際の底面を下面としかつ下部半分のみを常に浸水させて吸水させる方法、の2つであ

る。浸水後、30分、1時間、5時間、24時間、48時間、5日、7日および28日経過するごとに供試体を取り出し、手早く浸水部分の水分を拭き取り、直ちにひょう量したときの重量を吸水時の重量とし、次式によって吸水率を算定した。なお、供試体3個の試験値の平均値をもって吸水率とした。

$$\text{吸水率} = \frac{\text{吸水時の重量} - \text{乾燥時の重量}}{\text{乾燥時の重量}} \times 100$$

4.5 乾燥収縮試験

用いたモルタルは表3-1の配合番号3のもので、これを練り混ぜた後、フローおよび空気量(本文4.2)の試験をするとともに4×4×16cmの角柱形供試体を製作した。

コンクリートについては、表3-2に示した配合のものを練り混ぜた後、スランプおよび空気量(重量方法)の試験をするともに10×10×40cmの角柱形供試体を製作した。

供試体は、これを材令7日まで21±3°Cの水中で養生した後、温度21±3°C、湿度45±5%の恒温恒湿室に保存した。空气中保存期間、1週、2週、3週、4週、5週、6週、7週、8週および13週において、技協II型コンパレーター(科学研究所KK製)を用いて試験した。試験方法は、JIS A1125に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって乾燥収縮とした。

4.6 硫酸塩溶液による浸漬試験

用いたモルタルは表3-1の配合番号4のもので、これを練り混ぜた後、4×4×16cmの角柱形供試体をJIS R5201に準じて製作した。この際、モルタルは全く流動性を示さず、ばさばさした状態なのでフローおよび空気量試験は行わず、各層を20回ずつ突き固めた。

コンクリートについては、表3-2に示す配合のものを練り混ぜた後、スランプおよび空気量(重量方法)の試験をするともに供試体を製作した。供試体は直径15cm、高さ30cmの円柱形とし、その製作方法はJISA1108に準じた。

供試体は、成形後2日経て脱型し、温度21±3°Cの水、硫酸ナトリウム(Na₂SO₄)2.1%溶液および硫酸マグネシウム(MgSO₄)1.8%溶液の3種の液にこれを浸漬した。モルタルについては、材令4週および13週において20トン圧縮試験機を用いて、曲げ強度および圧縮強度を試験した。試験方法はJISR5201に準じ、曲げ強度および圧縮強度はそれぞれ供試体3個および6個の試験値の平均値をもって強度とした。コンクリートについては、材令4週および13週において、動弾性係数測定器(日本無破壊試験研究所製)および100トン万能試験機を用いて、動弾性係数および圧縮強度を試験した。試験方法はJISA1127(共鳴振動によるコンクリートの動弾性係数・動せん断弾性係数および動ポアソン比試験方法)およびJISA1108に準じ、供試体3個の試験値の平均値をもって動弾性係数および強度とした。

4.7 ブリージング試験

コンクリートについては、ブリージング試験をJISA1123(コンクリートのブリージング試験方法)に準じて行った。

§ 5. 試験結果およびその考察

5.1 ハイドロペルがセメントの凝結時間、フローおよび安定性におよぼす影響

ハイドロペルをセメントに混入した場合、それがセメントの凝結時間、フローおよび安定性におよぼす影響について、JIS R5201に準じてハイドロペルを混入しないセメントと比較試験した。試験結果は、表5-1に示す通りである。

表5-1 セメントの凝結時間、フローおよび安定性試験結果

混和材料	凝 結			フ ロー (mm)	安 定 性 浸 水 法
	始 発 (時一分)	終 結 (時一分)	水 量 (%)		
用いない	2-50	5-40	30	222	良
ハイドロペル	5-30	9-40	38	222	良

表5-1から次のようなことが認められる。ハイドロペルの混入によってセメントの凝結の始発および終結時間は、JIS R 5201の規格には合格しているにしても相当延長されている。この場合、セメントの標準軟度に必要な水セメント比は38%であって、混合水中のハイドロペルの濃度は著しく大きくなっており、実際に使用される場合とは異なっているのであるが、ハイドロペルによってセメントの凝結時間は延長され、ハイドロペルが凝結遅延効果を持つことが認められる。また、ハイドロペルの混入によってフロー値は変化せず、安定性も影響を受けず合格である。そもそも、セメントが不安定性となる原因の1つは、セメント粒子の内部に包まれた石灰の水和であると考えられ、凝結の遅いセメントの利点の一つは、セメントペーストが固くなる前に石灰の水和が起り、従って安定性が大きくなるのである。¹⁾ハイドロペルは、セメントと水との化学反応にあずかるものではなく、また、ハイドロペル混入によるセメントの凝結時間の遅延から、上記安定性試験結果は説明され得るものと思われる。

5-2 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの強度におよぼす影響

ハイドロペルの混入がモルタルおよびコンクリートの強度におよぼす影響を調べるために、モルタルについては、材令7日および28日において圧縮強度および曲げ強度を、コンクリートについては、材令28日において圧縮強度、曲げ強度、引張強度および付着強度を、それぞれについて、ハイドロペルを混入したものと混入しないものとを比較試験した。試験結果は、表5-2に示す通りである。

表5-2 強度試験結果

混和材料	供試体の種類	圧縮強度 (kg/cm ²)		曲げ強度 (kg/cm ²)		引張強さ係数 (kg/cm ²)	付着強度 (kg/cm ²)	
		7日	28日	7日	28日		28日	たわし処理
用いない	モルタル	215 (1.00)	348 (1.00)	42.0 (1.00)	55.3 (1.00)	—	—	—
	コンクリート	—	304 (1.00)	—	42.9 (1.00)	29.0 (1.00)	17.1 (1.00)	19.5 (1.00)
ハイドロペル	モルタル	118 (0.55)	204 (0.59)	27.1 (0.65)	40.2 (0.73)	—	—	—
	コンクリート	—	109 (0.36)	—	24.0 (0.56)	15.7 (0.53)	16.2 (0.95)	19.4 (0.99)
備 考	1. モルタルは、配合番号1のものである。 2. ()内の数値は、ハイドロペルを混入しないものの強度を1.00とした場合、それぞ れに対応する強度比である。 3. 付着強度については、その試験値は、新コンクリートの材令が28日におけるものであ る。たわし処理とは、旧コンクリートの打継面のモルタルをたわしで洗い落して打ち継 いたもので、ワイヤーブラシ処理とは旧コンクリートの打継面をワイヤーブラシで約2 mm削り取って粗にして打ち継いだものである。 4. 試験値は、モルタルの圧縮強度は供試体6個それ以外の強度は供試体3個の平均値で ある。							

表5-2から次のようなことが認められる。モルタルについては、ハイドロペル・モルタルの方が普通モルタル*

* 記述を簡単にするために、ハイドロペル・モルタル、ハイドロペル・コンクリートおよび普通モルタル、普通コンクリートとは、それぞれハイドロペルを混入したモルタル、コンクリートおよびハイドロペルを混入しないモルタル、コンクリートを示すことにした。

より、その圧縮強度は41~45%程度減少し、曲げ強度は27~35%程度減少している。これは、ハイドロペル・モルタルおよび普通モルタルの空気量がそれぞれ23%および2.4%であり、前者の方が約10倍大きいことによるものと思われる。そして、推定有効断面積は単位面積あたり、ハイドロペル・モルタルおよび普通モルタルそれぞれ0.59および0.89と考えられ、前者の方が約44%小さいのである。

コンクリートについては、ハイドロペル・コンクリート^{*}の方が普通コンクリート^{*}より、その圧縮強度は約64%、曲げ強度は約44%および引張強さ係数は約47%減少していることが認められる。水セメント比が一定なコンクリートにおいて、AEコンクリートの強度は、空気量の1%の増加により、圧縮強度において4~6%程度、曲げ強度において2~3%程度、減少すると言われているが、本実験において、ハイドロペル・コンクリートおよび普通コンクリートの空気量はそれぞれ約16%および2%であり、空気量1%の増加により、圧縮強度において約4.6%、曲げ強度において3.1%および引張強さ係数において約3.4%減少しており、上記結果は、これによって説明され得るものと思われる。次に付着強度については、たわし処理およびワイヤーブラシ処理において、ハイドロペル・コンクリートと普通コンクリートとの間には大差は認められない。しかし、ハイドロペル・コンクリートの空気量は普通コンクリートのその約8倍であって、打継目における有効断面積はハイドロペル・コンクリートの方がより小さいと思われ、このことを考慮すると、本実際に用いたコンクリートについては両コンクリートの打継目の曲げ強度の絶対値は等しいけれども、ハイドロペルの混入によってコンクリートの付着はある程度改善されるのではないかと思われる。さらにこれは、打継目の曲げ強度の打継目を有しないものの曲げ強度に対する比は、たわし処理およびワイヤーブラシ処理において、普通コンクリートがそれぞれ約40%および45%であるのに対し、ハイドロペル・コンクリートはそれぞれ約68%および81%であるという結果によっても説明され得るものと思われる。

5-3 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの吸水性におよぼす影響

防水剤としてのハイドロペルの性能を求めるために、ハイドロペル・モルタルおよびコンクリートと普通モルタルおよびコンクリートと普通モルタルおよびコンクリートとについて吸水試験を行い、毛管現象による吸水に対するこれらの抵抗性を比較した。試験結果は、表5-3、図5-1および図5-2に示す通りである。

表5-3 吸水試験結果

混和材料	供試体の種類	吸水方法	吸水率 (%)									蒸発率 (%)
			30分	1時間	5時間	24時間	48時間	5日	7日	28日		
用いない	モルタル	全面浸水	10.8	11.0	11.1	11.4	11.5	11.8	11.9	12.4	6.0	
		半分浸水	7.0	9.0	11.4	11.6	11.7	11.9	12.0	12.2		
	コンクリート	全面浸水	2.4	3.0	4.5	5.0	5.0	5.1	5.1	5.3	3.4	
		半分浸水	0.6	0.8	1.8	3.6	4.5	5.2	5.5	5.5		
ハイドロペル	モルタル	全面浸水	3.5	3.8	4.8	6.2	6.8	7.6	8.1	9.8	5.3	
		半分浸水	0.8	1.0	1.7	2.7	3.3	4.1	4.3	5.5		
	コンクリート	全面浸水	0.8	0.9	1.2	1.5	1.7	2.0	2.1	2.7	3.6	
		半分浸水	0.2	0.2	0.3	0.6	0.8	1.1	1.2	1.7		
備考	1. モルタルは配合番号2のものである。 2. 吸水方法における全面浸水とは供試体を水中に静置し全面から吸水させるものを言い、半分浸水とは供試体の下部半分を浸漬させて吸水させるものを言う。 3. 蒸発率とは、供試体を空中で養生した後の重量に対する炉乾燥によって失われる水分の重量百分率を言う。 4. 試験値は、蒸発率は供試体6個、吸水率は供試体3個の平均値である。											

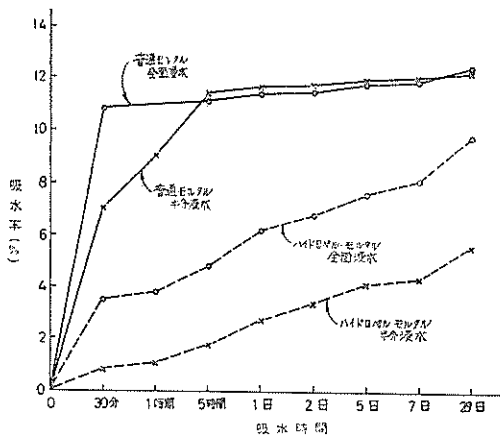


図5-1 モルタルの吸水試験結果

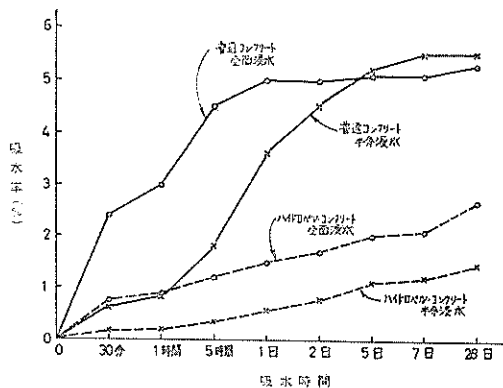


図5-2 コンクリートの吸水試験結果

表5-3、図5-1および図5-2から次のようなことが認められる。モルタルについては浸水後28日において、ハイドロペル・モルタルの吸水率の方が普通モルタルのそれより、全面浸水および半分浸水においてそれぞれ約21%および55%小さい。

コンクリートについては、浸水後28日においてハイドロペル・コンクリートの吸水率の方が普通コンクリートのそれより、全面浸水および半分浸水においてそれぞれ約49%および69%小さいことが認められる。

また、蒸発率は、モルタルおよびコンクリートにおいて、ハイドロペルを混入したものと混入しないものとそれぞれほとんど同じで、ハイドロペルの水分保持の効果は認められない。

モルタルおよびコンクリートにおいてその空気量は、ハイドロペルを混入したものが混入しないものの、それぞれ約3倍および8倍で、その内部構造は、ハイドロペルを混入したものが混入しないものより、空げきが多いと考えられるのであるが、吸水率はハイドロペルを混入することによって減少し、ハイドロペルの防水効果が認められるのである。一般に、AEコンクリートにおいては、その内部に連行される空気¹⁾の性質上、他の条件が同じである場合、AE剤を用いないコンクリートより水密的であると言われている。また、スランプ測定を完了した後、コンクリートの截頭錐体の側面を突き棒で軽くたたいてコンクリートの崩れる状態を観察する、練り板上における切り返しの際のコンクリートの状態を観察する、などの観察結果より、ハイドロペル・コンクリートは普通コンクリートより、そのプラスチックシーおよび粘着性において優れていることが認められた。これらのことより、ハイドロペルによってモルタルおよびコンクリートに連行される空気は、AE剤を混入したもののそれと同性質のものではないかと考えられる。

一方、ハイドロペルを混入しないものは、浸水後約1日までの吸水率の増加は急激で、それ以後の吸水率の上昇は緩慢であるのに対し、ハイドロペルを混入したものの吸水率については、その増加率は緩慢ではあるが直線的に増加している。これは、ハイドロペルはモルタルおよびコンクリートの内部の毛細孔の上に非常に薄いアスファルト被膜物を形成し、それが水をはねつけることによって毛管現象による吸水に対する抵抗性を大きくするのであって、毛細孔に栓をするように毛細孔の構造を変えるものではなく、従ってハイドロペルには長期間にわたる防水効果があるかどうか疑わしいということによって説明し得るものと考えられる。

また、吸水方法については、普通モルタルおよびコンクリートの場合、全面浸水および半分浸水における吸水率は、浸水後始めのうちは全面浸水の方が大きい²⁾が、吸水時間の経過とともに半分浸水の方の増加率が大きくなり、モルタルでは浸水後5時間、コンクリートでは浸水後5日において、両者の吸水率はほぼ等しくなる。そして、それ以後は両者ともほとんど同じである。これに対してハイドロペル・モルタルおよびコンクリートの場合は、全面浸水の吸水率の方が半分浸水のそれより40~80%程度大きいことが認められる。普通モルタルおよび

コンクリートの場合は、その吸水率の吸水時間初期における両方法による差は、供試体の水に接する面積が全面浸水の場合が半分浸水の場合の2倍であることによると考えられる。一方、ハイドロペル・モルタルおよびコンクリートの場合は、両方法による吸水率の差は、同様に吸水面積の差によるものと思われるが、本吸水期間中に於いて普通モルタルおよびコンクリートの場合のように、両吸水率が等しくならないのは、ハイドロペルの混入によって吸水速度が遅延されると考えられることから説明される。しかし、この両者の差は時間の経過とともに小さくなり、長時間のうちにはほとんど認められなくなるのではないかと予想される。

なお、本吸水試験方法は、供試体を高熱で乾燥した後吸水させたものであって、自然状態における吸水現象とは異なっていると思われ、また、期間も限定されているが、これよりハイドロペルの防水効果の大体の傾向を知ることができると思われる。

5.4 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮におよぼす影響

ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮におよぼす影響について、ハイドロペル・モルタルおよびコンクリートと普通モルタルおよびコンクリートについてそれぞれ比較試験した。試験結果は、表5-4および図5-3に示す通りである。

表5-4 乾燥収縮試験結果

混和材料	供試体の種類	乾燥収縮 (10 ⁻⁴)								
		1週	2週	3週	4週	5週	6週	7週	8週	13週
用いない	モルタル	5.62	10.05	11.52	13.71	14.69	14.95	15.02	15.49	16.31
	コンクリート	5.08	6.31	9.46	—	14.01	13.54	16.41	15.13	18.32
ハイドロペル	モルタル	12.17	15.53	16.25	16.34	17.01	17.39	17.91	17.72	18.60
	コンクリート	14.29	16.22	22.52	26.07	30.75	29.94	30.41	31.23	31.99

備考
1. モルタルは配合番号3のものである。
2. 試験値は、供試体3個の平均値である。

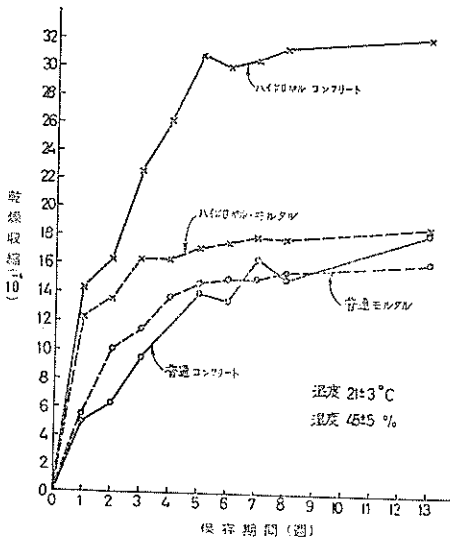


図5-3 乾燥収縮試験結果

表5-4および図5-3から次のようなことが認められる。モルタルについては、ハイドロペルを混入したものの方が混入しないものよりその乾燥収縮は大きく、保存期間1週においてはその値は約2.2倍で、それ以後においてはその値は大體等しく1.2~1.6倍程度である。すなわち、ハイドロペル・モルタルの乾燥収縮の方が普通モルタルのそれより1~2倍程度大きい。両者の時間的変化は大體同じ傾向にあり、保存期間4週以後は両者とも増加率は緩慢である。

表5-5 用いたモルタルの単位容積 (m³) あたりの配合

混和材料	セメント量 (kg)	水量 (kg)	砂量 (kg)	空気量 (%)
用いない	578	347	1156	2.5
ハイドロペル	428	257	856	28

乾燥収縮試験に用いたモルタルの単位容積あたりの配合を示すと表5-5の通りである。一般に、水和によって生じたセメントゲルは、多くの他の膠質材料と同じく、湿気を吸収すると容積が増大し乾燥すると減少し、これがモルタルにおける乾湿による体積変化の主因をなすものであり、従って、一定の水セメント比に対しては、単位セメント

ペースト量が小さいほど乾燥収縮は小さいといわれている²⁾。また、コンクリートの場合と同様に、モルタルの乾燥収縮は、空気量の増加とともに増加するものと考えられる。このことから、上記試験結果は、ハイドロペル・モルタルの単位セメントペースト量は普通モルタルのそれより約26%小さいのであるが、その空気量は前者の方が約11倍大きいということによるものと考えられる。

次に、コンクリートについては、ハイドロペル・コンクリートの乾燥収縮の方が普通コンクリートのそれより大きく、その値は2~3倍程度である。また、両者の乾燥収縮の時間的変化は大体同じ傾向にあり、保存期間5週以後は両者とも収縮の増加率が緩慢になっていることが認められる。一般に、コンクリートの乾燥収縮に最も著しい影響を与えるものは単位水量であり、コンクリートの乾燥収縮は主としてセメントペーストの収縮によるものであるから、単位水量の少ないコンクリートほど、従って一定の水セメント比に対しては、単位セメントペースト量の小さいほど乾燥収縮は小さく、また空気量の増加とともに乾燥収縮も増大するものと言われている¹⁾³⁾。従って、ハイドロペル・コンクリートの単位セメントペースト量は普通コンクリートのそれより約11%小さいのであるが、空気量は前者の方が約8倍大きいということによって、上記試験結果は説明され得るものと思われる。

5.5 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの耐硫酸塩性におよぼす影響

モルタルおよびコンクリートにハイドロペルを混入した場合、その硫酸塩に対する抵抗性を調べるために、一定濃度(1.5モル)の硫酸ナトリウムおよび硫酸マグネシウム溶液および水に、ハイドロペルを混入した試験片および混入しない試験片をそれぞれ浸漬して圧縮強度、曲げ強度および動弾性係数を比較試験した。試験結果は、表5-6および表5-7に示す通りである。

表5-6 モルタルの硫酸塩溶液による浸漬試験結果

混和材料	水 溶 液				Na ₂ SO ₄ 溶 液				Mg SO ₄ 溶 液			
	圧縮強度 (kg/cm ²)		曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)		曲げ強度 (kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)		曲げ強度 (kg/cm ²)	
	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週
用いない	67.1 (1.00)	74.8 (1.00)	16.4 (1.00)	17.5 (1.00)	77.1 (1.15)	85.3 (1.14)	17.2 (1.05)	18.0 (1.03)	72.9 (1.09)	79.8 (1.07)	21.5 (1.31)	23.1 (1.23)
ハイドロペル	60.8 (1.00)	66.6 (1.00)	15.4 (1.00)	15.7 (1.00)	69.8 (1.15)	77.3 (1.16)	12.8 (0.83)	15.0 (0.96)	72.3 (1.19)	74.7 (1.12)	15.2 (0.99)	17.7 (1.13)
備 考	1. モルタルは配合番号4のものである。 2. ()内の数値は、水溶液における強度を1.00とした場合の、硫酸塩溶液における強度比である。 3. 試験値は圧縮強度は供試体6個、曲げ強度は供試体3個の平均値である。											

表5-7 コンクリートの硫酸塩溶液による浸漬試験結果

混和材料	水 溶 液				Na ₂ SO ₄ 溶 液				Mg SO ₄ 溶 液			
	圧縮強度 (kg/cm ²)		動弾性係数 (10 ⁻⁴ kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)		動弾性係数 (10 ⁻⁴ kg/cm ²)		圧縮強度 (kg/cm ²)		動弾性係数 (10 ⁻⁴ kg/cm ²)	
	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週	4週	13週
用いない	304 (1.00)	402 (1.00)	38.1 (1.00)	40.3 (1.00)	312 (1.03)	394 (0.98)	37.2 (0.98)	40.7 (1.01)	321 (1.06)	406 (1.01)	37.5 (0.99)	39.9 (0.99)
ハイドロペル	109 (1.00)	139 (1.00)	18.9 (1.00)	20.8 (1.00)	119 (1.09)	152 (1.09)	20.5 (1.08)	22.3 (1.07)	117 (1.07)	142 (1.02)	20.8 (1.10)	22.2 (1.07)
備 考	1. ()内の数値は、水溶液における強度および動弾性係数を1.00とした場合の硫酸塩溶液における強度比および動弾性係数比である。 2. 試験値は供試体3個の平均値である。											

表5-6および表5-7から次のようなことが認められる。モルタルについては、圧縮強度は普通モルタルおよびハイドロペル・モルタル両者において、水溶液の場合より硫酸塩溶液の場合の方が7~19%程度大きい。曲げ強度は、ハイドロペル・モルタルの硫酸ナトリウム溶液の場合以外は、普通モルタルおよびハイドロペル・モ

ルタルの両者において、水溶液の場合より硫酸塩溶液の場合の方が0～31%程度大きい。本実験方法は、ボーグ氏がその著書で提案している方法(セメントの耐硫酸塩性の試験において、浸漬液の濃度を1.5モルと小さくし、⁴⁾供試モルタルを貧配合にすれば、硫酸塩によるモルタルの浸食現象が良く現われる)に準じて行ったのであるが、本実験範囲内では、普通モルタルおよびドロペル・モルタルいずれも硫酸塩によってその強度は影響を受けておらず、モルタルは浸食されていないものと考えてよいと思われる。そして、かえって硫酸塩溶液の場合の方が水溶液より強度が大きくなっているが、これは硫酸塩の融解熱が材令初期における供試体に影響したのではないかとと思われる。また、ドロペル・モルタルの普通モルタルに対する比は、圧縮強度において89～99%程度、曲げ強度において71～96%程度であり、本文5・2に述べた試験における場合より、特に圧縮強度において、その強度の減少率は小さいことが認められる。これは、用いたモルタルが1：5モルタルで貧配合でありプラスチックでウォークアブルではなく、プラスチックでウォークアブルなモルタルにおける場合と同様に空気が運行されなかったと考えられることによるものと思われる。

コンクリートについては、圧縮強度および動弾性係数は、普通コンクリートおよびドロペル・コンクリート両者において、水溶液の場合より硫酸塩溶液の場合の方が0～9%程度大きいことが認められる。また、ドロペル・コンクリートの圧縮強度は、普通コンクリートのそれより浸漬液および材令のいかんを問わず62～65%程度減少しているが、これは、本文5・2において述べたコンクリートの圧縮強度のドロペル混入による減少率とほとんど等しく、減少の原因も前述と同様であると考えられる。次に、ドロペル・コンクリートの動弾性係数は、普通コンクリートのそれより浸漬液および材令のいかんを問わず44～50%減少していることが認められる。これは、ドロペル・コンクリートの圧縮強度が普通コンクリートのその35～38%程度で、空気量は前者の方が後者の約8倍であり、コンクリートの弾性係数は圧縮強度の減少とともに減少し、空気量の大きいものほど小さいということによって説明され得るものと思われる。以上のように、コンクリートは硫酸塩の影響を受けていないと考えられるが、これは、浸漬液の濃度が低いこと、コンクリートがかなり富配合であることおよび浸漬期間が短いことなどによるものと思われ、本試験結果からドロペルの耐硫酸塩性を論ずることはできないものと考えられる。

一般に、硫酸ナトリウム、硫酸マグネシウム等の硫酸塩は、硬化したセメント中の水酸化石灰およびアルミン酸石灰塩と化合し複塩であるセメントバチルス⁵⁾を生成し、セメントバチルスの生成に伴う反応は、著しい体積の膨脹をきたし、化学作用と物理作用の両者によってコンクリートを腐食分解する。そして、コンクリート中に浸入した硫酸塩を含んだ水が蒸発すれば塩類が沈積し、乾湿を交互に受ける場合には、塩類の結晶は次第に生長してコンクリート中の空気を満たし、遂にはコンクリートを崩壊に導くということが言われている。従って、ドロペルの耐硫酸塩性を試験する方法として、もっと濃度の大きい硫酸塩溶液を使用して、供試体に乾湿を交互に与え、その重量減少、強度および動弾性係数等を試験する方法を採用すれば良いように思われる。

5.6 ハイドロペルがコンクリートのブリージングにおよぼす影響

ドロペルがコンクリートのブリージングにおよぼす影響について、ドロペル・コンクリートと普通コンクリートとを比較試験した。試験結果は、表5—8および図5—4に示す通りである。

表5—8 ブリージング試験結果

混和材料	ブリージング量 (cm^3/cm^2)	ブリージング率 (%)
用いない	0.153	4.08
ドロペル	0	0

表5—8および図5—4から次のようなことが認められる。ドロペル・コンクリートのブリージング量は

0 cm³/cm² であり、ハイドロペルの混入によってコンクリートのブリージングは著しく減少し、コンクリートの材料分離に対する抵抗性は改善されると考えられる。ハイドロペル・コンクリートおよび普通コンクリートの単位水量は、それぞれ158kgおよび178kgで、その比は1 : 1.13

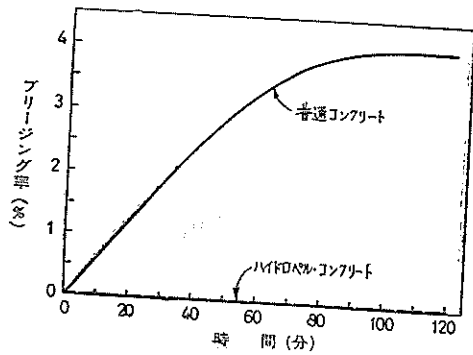


図5-4 ブリージング試験結果

であるが、これはハイドロペル全量を混合水の一部とみなした場合の数値である。しかし、ハイドロペルは、その蒸発残留物が55.8%であるから、その重量の約44%に相当する水を含有していると考えられ、このハイドロペル中の全水量を混合水の一部と考えると、ハイドロペル・コンクリートおよび普通コンクリートの単位水量は、それぞれ135kgおよび178kgで、その比は1 : 1.32となり、後者の方が前者より約32%大きいのである。このことより、上記試験結果は説明され得るものと考えられる。

さらに、単位水量を減らし、AE剤、セメント分散剤などを用いると、モルタルおよびコンクリートのブリージングは非常に減少すると言われているが、本実験結果からも、本文5・2で述べた、ハイドロペルの混入によってコンクリートに連行される空気は、AE剤を混入したもののそれと同性質のものではないか、ということが考えられるのである。

§ 6. 結 論

本実験の範囲内で次のことが言えると思われる。

1. ハイドロペルは、モルタルおよびコンクリートに相当の空気量を連行する。従って、ハイドロペルの混入によってコンクリートのブリージングは相当に減少し、コンクリートの材料分離に対する抵抗性が大きくなる。
2. ハイドロペルの混入によって、モルタルおよびコンクリートの圧縮強度、曲げ強度および引張強度は相当に減少し、スランプ15±1cm、水セメント比53%を一定としたコンクリートの場合、その減少率は材令28日において、それぞれ約64%、44%および47%である。
3. ハイドロペルの混入によって、モルタルおよびコンクリートの毛管現象による吸水は相当小さくなり、ハイドロペルの防水剤的效果が認められる。しかし、ハイドロペルは長期間にわたって防水効果を発揮することはできないものと予想される。
4. ハイドロペルの混入によって、モルタルおよびコンクリートの乾燥収縮は増加し、スランプ15±1cm、水セメント比53%を一定としたコンクリートの場合、その増加率は、保存期間13週までにおいては2~3倍程度である。また、ハイドロペル・モルタルおよびコンクリートと普通モルタルおよびコンクリートのそれぞれの乾燥収縮の時間的变化は、大体同じ傾向である。

さらに、本実験から次のようなことが考えられる。モルタルおよびコンクリートにおいて、ハイドロペルの混入によって、耐水性および材料分離に対する抵抗性は多少改善されるのであるが、強度、特に圧縮強度および乾燥収縮は悪影響を受ける。本実験においては、ハイドロペルの混入率をセメント量の重量比で13.7%としたが、コンクリートには16%の空気量が連行され、一般にコンクリートの連行空気量は3~6%が適当であると言われており、このことからしても、この混入率は過大であると考えられる。そこで、ハイドロペルを実際に応用するためには、ハイドロペルの混入率をもっと小さくして、コンクリートの最も重要な性質の一つである強度の減少をより小さくし、種々な混入率について実験する必要があると考えられる。ハイドロペルの混入率を小さくすれば、当然ハイドロペルの混入によって改善される性質の程度はより減少するものと考えられるが、ハイドロペル

の混入によって悪影響を受ける性質の程度をより小さくすることも必要であり、結局、対象とする構造物すなわちハイドロペルの使用目的に対する最適の混入率を求めることが必要である。さらに、耐吸水性については、吸水試験をさらに長期にわたって行ない、透水試験もあわせて行って圧力水に対する抵抗性も試験し、耐硫酸塩性については、本文5・5の最後に述べたような実験を行うことが必要であると考えられる。

参 考 文 献

- 1) 吉田徳次郎：コンクリート及鉄筋コンクリート施工法，丸善，昭和31年2月，P.56，P.594，P.593，P.543.
- 2) 猪股俊司：プレストレストコンクリートの設計および施工，技報堂，昭和32年11月，P.36，
- 3) Concrete Manual (1949)：P.39，P.41.
- 4) 浅岡勝彦，石井峰郎：耐硫酸塩セメントの研究，セメント技術年報V1951 より転載.
- 5) 近藤泰夫，坂静雄：コンクリートハンドブック，朝倉書店，昭和32年9月，P.328～329.