

[31] SECコンクリートの基礎的性状に関する研究

正会員 山本 康弘 (大成建設技術研究所)
 丸嶋 紀夫 (大成建設技術研究所)
 正会員 ○早川 光敬 (大成建設技術研究所)
 正会員 伊東 靖郎 (リブコンエンジニアリング)

1. まえがき

本研究は SECコンクリートの基礎的性状の解明と、その特性について調べたものである。

コンクリートを研究室で練る場合、骨材はあらかじめ表乾状態に調整されているのが通例である。ところが実際に現場で練られるコンクリートに用いられる骨材は、湿潤状態のものがほとんどであり、その表面水率も常に変動しているのが一般である。この表面水量の違いは、投入水量から差し引くという補正を行えば特に問題はないものと考えられていた。

我々はプレバクトコンクリート用の注入モルタルの性状を研究していく段階で、砂の表面水量を投入水で補正しても、得られるモルタルの流動性をはじめ諸性状に違いがあることを見出した。これは特に砂とセメントを混練した後に水を加えてモルタルにする混練方法を用いた時に、その傾向が顕著になることがわかった。この中で砂の表面水がある適当な量の時に得られるモルタルが、ブリージングや分離が少なく、又強度が高くなるなどの好ましい性状を有することがわかつってきた。そしてこの適当な量の水というのが、セメント量の20~25%程度であることもわかつってきた。

この現象は又コンクリートにも応用できる。この適当な量に調整された表面水を有する骨材とセメントを空練りするという過程を経て得られるコンクリートを SECコンクリートと呼んでいる。この SECコンクリートのいくつかの性状については、既に報告を行ってきた。^{1)~4)} 本報告ではセメントベースト、モルタル、コンクリートの実験を通して、SECコンクリートの基本理論を探り、その上で得られた SECコンクリートの強度やブリージング等の性状について調べた結果を報告するものである。

2. SECコンクリートの基礎

2.1 セメントの混練実験

モルタルミキサの中にセメント粉体を入れ、攪拌しながら水を順次添加していくと、水の添加量によってミキサの所要電流が変わってくる。これはセメントと水の比率によってその必要な混合トルクが変わってくるためであって、普通ポルトランドセメントを用いて行った測定例を示すと図-1 のようになる。最初水を添加することによって所要電流は直線的に増加していく。水セメント比が20%を越えると所要電流は急激に上昇し、後は急速に低下していく。この最大値は水セメント比が20~25%の所で生じている。

この現象を水と粉体の関係で見ていくと粉体に少量の水が存在するペンドュラーの状態からファニキュラーの状態を経て、粉体同志は互いに接触しつつも空隙に気泡が残らず水で満たされた状態であるキャピラリーの段階になる。さらに水を加えていくと水の中に粉体が浮遊したスラリー状態となる。先の混合トルクのピークはこのキャピラリー状態のベーストによるものであり、この状態でセメントの粉体は互いに大きな張力によって抱束されて強固な状態となる。SECコンクリートではこのキャピラリー状態の強固なベーストが空練り段階で骨材を包んでいるわけである。

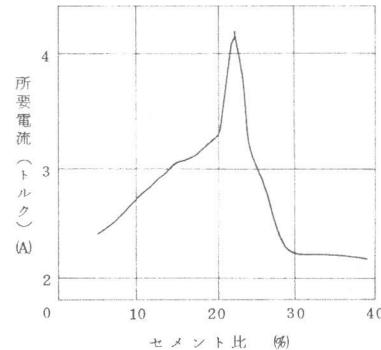


図-1 セメントベーストの混合トルク

一方、流動するスラリー状のセメントベーストを作るのに一度その手前の段階で混練し、しかる後にスラリー状にするという、水を2回に分けて混練したセメントベーストの性状について調べてみた。練上りの水セメント比が50%になるように、モルタルミキサを用いてセメントと1回目の水を120秒間混練し、さらに残りの水を加えて90秒間混練した。1回目の水の量をセメントの15, 20, 25, 30, 35%の各点と、比較のために水の投入を1回で行う方法を試験した。練り上ったセメントベーストの3時間後のブリージングを測定した結果を図-2に示す。ちょうど図-1のトルクの曲線と逆になっており、キャビラリー状態で一度混練したベーストに水を加えてスラリー状のベーストにすると、ブリージングが大きく減少することがわかった。

この現象の原因を調べるために、キャビラリー状態で一度混練してスラリー状にしたセメントベーストと、水の投入を1回で行う従来法のセメントベーストを、それぞれガラス板の上に薄くのばして比較観察した。その結果を右に写真で示すが、キャビラリー状態を経たベーストは、セメントの團粒が小さくその数も少いことがわかる。このことはセメント粒子の分散がよいことを示しており、よってブリージングが減少するものと思われる。

2.2 モルタル

セメントベーストを練る時に、一度キャビラリー状態で混練を行い、その後水を添加してスラリー状にするとブリージングが少ないものが得られることがわかった。これをモルタルに応用するのに次の2つの方法が考えられる。①キャビラリー状態のセメントベーストを練りこれに砂と残りの水を加えて所定のモルタルにする。②砂とセメントと一部の水を混練して、その後残りの水を加えて所定のモルタルとする。これと③砂、セメント、水を全量同時に投入して混練する方法を加えた3つの混練方法を比較検討した。用いた材料はセメントは普通ポルトランドセメントであり、砂は大井川産の川砂でF.M.が2.82のものである。配合は W/C が55%で S/C が3で高性能減水剤をセメントの0.6%添加したものと、 W/C が65%、 S/C が3で混和剤を用いないものの2種とした。混練方法及び結果を表-1に示す。

表-1 モルタルの混練方法とその性状

配合	混練方法	テーブルフロー cm × cm	ブリージング率 (%)	圧縮強度	
				1 W (kg/cm ²)	4 W (kg/cm ²)
$W/C = 55\%$ $S/C = 3$ 高性能減水剤 0.6%wt	① セメント + 水 ₁ → 混練120秒 + 砂 + 水 ₂ → 混練90秒	24.0 × 23.9	1.6	261	444
	② 砂 + 水 ₁ + セメント → 混練120秒 + 水 ₂ → 混練90秒	21.7 × 20.9	1.0	327	504
	③ 砂 + セメント + 水 → 混練90秒	22.7 × 22.7	1.8	243	427
$W/C = 65\%$ $S/C = 3$	① セメント + 水 ₁ → 混練120秒 + 砂 + 水 ₂ → 混練90秒	25.0 × 24.8	5.7	194	380
	② 砂 + 水 ₁ + セメント → 混練120秒 + 水 ₂ → 混練90秒	22.9 × 22.5	1.8	204	388
	③ 砂 + セメント + 水 → 混練90秒	24.9 × 25.0	6.1	175	375

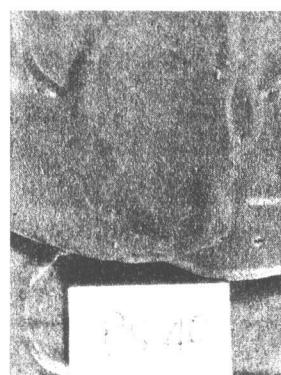


写真-1 2度練りベースト

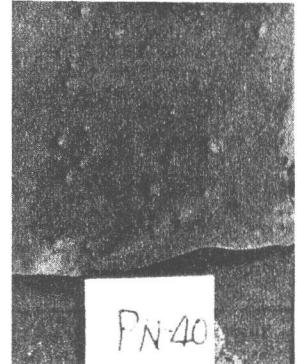


写真-2 従来ベースト

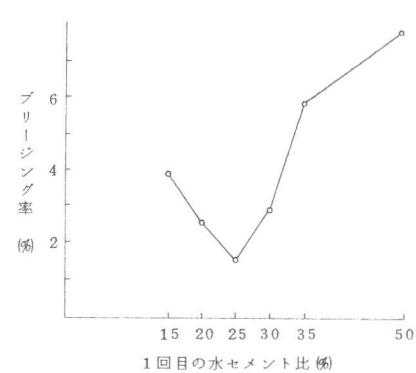


図-2 セメントベーストのブリージング

この結果をみると、同じキャビラリー状態を経てきたセメントペーストと砂の組み合わせでも、できたモルタルの性状には、それぞれ違いが生じていることがわかる。いずれの場合も②砂とセメントと一部の水をあらかじめ混練する方法でブリージングが少なく、強度は高くなっている。この空練り状態の時にできるキャビラリー状態のセメントペーストが、砂とよく混ざって存在することが、練り上ったモルタルの性状の改善に何らかの寄与をしていることが想像される。

2.3 コンクリート

水を2回に分けて添加する方法をモルタルに利用するには、砂の表面水を調整してやり、セメントと空練りしてやる方法が良いことがわかった。ここではさらにコンクリートに応用することを考えてみる。コンクリートに用いるには①キャビラリー状態のセメントペーストに砂、砂利、残りの水を加える。②キャビラリー状態のセメントペーストと砂を混練したモルタルと砂利によってコンクリートにする。③表面水量を調整した砂と砂利とセメントを混練し、キャビラリー状態のペーストが骨材を包むようにした後、残りの水を加えて所定のコンクリートにする。この中でモルタルの実験からみて有力な方法は②及び③であるため、この2つと、④全量同時投入の従来混練とを比較することとした。使用した材料は普通ポルトランドセメント、海砂と碎石、それに遅延型のAE減水剤を使用した。ミキサは強制攪拌式のもので、 $W/C = 55\%$ 、目標スランプを15cmとした。結果を表-2に示すが、ブリージングも強度も③の練り方が最も良くなっている。この混練方法がSEC法である。

表-2 コンクリートの混練方法とその性状

混 練 方 法	結果				
	スランプ (cm)	空 気 量 (%)	ブリージング率 (%)	圧縮強度1W (kg/cm ²)	圧縮強度4W (kg/cm ²)
② 砂 + 水 ₁ + セメント → 混練 120秒 + 水 ₂ + 砂利 → 混練 90秒	14.6	3.9	0.9	272	367
③ 砂 + 砂利 + 水 ₁ → 混練 30秒 + セメント → 混練 120秒 + 水 ₂ → 混練 90秒	12.8	4.0	0.3	297	383
④ 砂 + 砂利 + 水 + セメント → 混練 90秒	15.5	4.0	1.0	285	368

3. SECコンクリートの物性

3.1 強度

SECコンクリートの各種配合に対する強度及び各種物性を調べるために、水セメント比が30、40、50、60%でスランプ18cm程度のコンクリートについて、従来方法の混練によるコンクリートと比較しながら検討した。実験に用いた材料は普通ポルトランドセメント、砂は大井川産でF.M.が2.94のもの、粗骨材も大井川産でF.M.が6.86のものを使用した。また混和剤としては高性能減水剤を使用した。混練には強制攪拌ミキサを用いた。コンクリートの配合及び練り上り性能は表-3に示した通りである。セメント水比と圧縮強度の関係を図-3に示したが、SECコンクリートは従来混練のものと比べて10~20%程度高い値を示した。

又これらのコンクリートの弾性係数は表-4に示すようであり、SECコンクリートと従来混練のものでその値はほぼ同じであった。この場合の圧縮応力度-歪度曲線の一例を示すと図-4のようになり、SECコンクリートでは荷重が最大荷重の2/3程度まではほぼ直線であるのに対し、従来混練のものは初期荷重のものから曲線状態になっている。又最大歪度を比較するとSECコンクリートの方が 500×10^{-6} 程大きい値となっている。このようにSECコンクリートは配合が同一の場合、弾性係数はほぼ同じであり、強度が高い分だけ最大歪度が大きくなり、伸び能力の大きいコンクリートであるといえる。

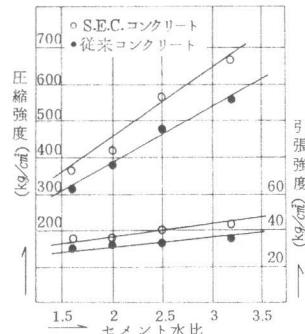


図-3 セメント水比と強度

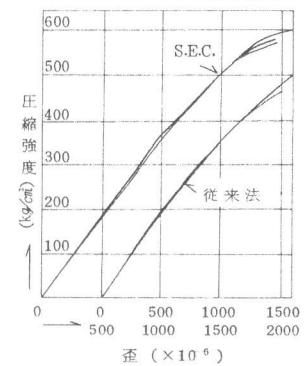


図-4 応力-歪度曲線

表-3 各コンクリートの配合、性能及び物性

記号	配合						練り上り性能			物理的性質					
	W/C %	セメント kg/m ³	川砂 kg/m ³	川砂利 kg/m ³	水 kg/m ³	減水剤 kg/m ³	スランプ cm	空気量 %	容重 kg/m ³	ブリージング %	圧縮強度 kg/cm ² 7日	引張強度 kg/cm ² 28日	弾性係数 x10 ⁶ kg/cm ²	ボアン比	
S.E.C.-1	30	552	673	1011	164	7.4	19.7	2.5	2,400	0	591	669	43	3.54	0.22
S.E.C.-2	40	426	757	1043	171	3.9	19.0	1.7	2,399	0	463	579	40	3.52	0.19
S.E.C.-3	50	361	736	1093	180	1.9	18.1	1.2	2,370	0	294	415	33	2.91	0.21
S.E.C.-4	60	287	874	1011	172	1.4	14.7	1.9	2,340	0	258	378	33	3.02	0.20
従来法-1	30	546	666	1110	162	2.1	18.3	2.9	2,374	0.78	468	567	37	3.69	0.21
従来法-2	40	428	762	1050	176	3.4	18.6	2.7	2,416	1.00	362	483	34	3.64	0.20
従来法-3	50	360	734	1090	179	0	17.7	1.6	2,363	3.51	274	387	31	3.31	0.20
従来法-4	60	287	876	1014	174	1.2	18.8	2.1	2,351	2.82	208	328	30	3.16	0.21

3.2 ブリージング

スランプが 10 cm と 18 cm の 2 種類、水セメント比が 50 % と 60 % の 2 種類のものについて、①従来混練のコンクリート、②従来混練のものと配合が同一の SEC コンクリート、③混和剤量をかえてスランプと空気量を従来混練のものと同じにした SEC コンクリートの性状を比較した。各コンクリートの配合は表-4 に示すようであり、材料は普通ポルトランドセメント、大井川産川砂、20 mm 以下の碎石を使用した。

結果は右の図の通りであって、SEC 方式ではスランプおよび空気量が従来方式に比べてやや小さく、一定とするためには混和剤量を増加させた。図-5 はコンクリートのブリージング量を示したもので、SEC コンクリートは従来混練のものに比べてブリージング量の顕著な減少が見られた。次にポンプ圧送性の評価方法の 1 つである加圧ブリージング試験を行った。これはシリンダーに詰めたコンクリートを 35 kg/cm² で加圧して、その脱水量の経時変化を見るものである。その結果は図-6 の通りであって、各配合とも SEC コンクリートの脱水量が、特に加圧初期で少なくなっている。これはポンプ圧送時のピストン等の脈動圧によっても、必要以上の脱水が起りにくくことを示しており、圧送中の閉塞の可能性が少ないものと思われる。

4. 結論

SEC コンクリートの混練方法の効果が、セメントペースト、モルタルの実験から、セメントの分散効果と造殻による骨材の周辺改善効果であることが明らかになり、コンクリートの性状に及ぼす影響が明らかになった。

本研究は東京大学工学部樋口芳朗教授、岸谷孝一教授の御指導をいただいた。ここに深く謝意を表します。

5. 参考文献

- 1) 伊東靖郎他「SEC コンクリートの特性と展望」セメントコンクリート No. 410 1981-4
- 2) 山本康弘他「SEC コンクリートの施工性に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 1981-9
- 3) 早川光敬他「SEC コンクリートの物性に関する研究」日本建築学会大会学術講演梗概集 1981-9
- 4) 山本康弘他「SEC コンクリートの基礎理論と物性」大成建設技術研究所報 第 14 号 1981-12
- 5) R. D. Brown and P. B. Banforth, "Test to Establish Concrete Pumpability", ACI Journal, May 1977

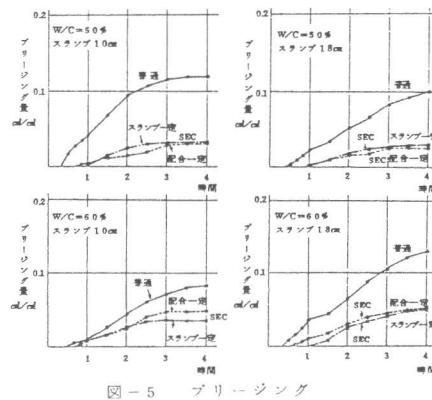


図-5 ブリージング

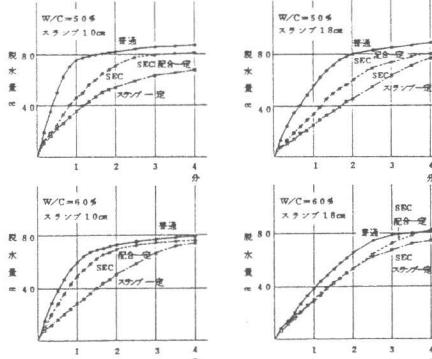


図-6 加圧ブリージング