

論文

[1029] 鋼管充てん用コンクリートに関する基礎的研究

正会員○小野義徳（小野田セメント セメント・コンクリート研究所）  
 正会員 吉川智史（小野田セメント セメント・コンクリート研究所）  
 今村義則（小野田セメント セメント・コンクリート研究所）  
 正会員 小川 学（三井建設 建築本部 建築技術部）

1. はじめに

近年、高層建築物の躯体構造システムとして、力学的特長に併せ、施工の省力化や信頼性の向上が図れるという長所を有する鋼管コンクリート構造が注目されている。鋼管充てん用コンクリートの要求特性としては、①流動性に優れ、充てん性が良いこと、②ブリージング水の発生がなく、コンクリートの充てん後に空隙を作らないこと（例えばダイヤフラム下面）、③硬化後の収縮がないこと、などが挙げられる[1],[2]。

本研究は、鋼管充てん用コンクリートの開発を目的としたもので、ブリージングを低減するための分離防止材を使用したコンクリートについて、高性能A E減水剤の種類の違いによる影響を把握し、また、このコンクリートを使用した模擬柱試験体による物性を測定し、鋼管充てん用コンクリートとしての特性に関して検討した。

2. 実験の範囲

次に示す2シリーズに分けて検討した。

シリーズⅠ：鋼管充てん用コンクリートに用いる高性能A E減水剤の種類の違いによる影響

シリーズⅡ：模擬柱試験体による物性試験

3. 鋼管充てん用コンクリートに用いる高性能A E減水剤の種類の違いによる影響（シリーズⅠ）

3.1 使用材料、配合および試験方法

セメントは普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントB種、細骨材は小笠産陸砂（比重2.62, 粗粒率2.81）、粗骨材は岩瀬産砕石（最大寸法20mm, 比重2.64, 粗粒率6.65）を用いた。分離防止材としては、シリカフェーム（比重2.20, 比表面積16.9m<sup>2</sup>/g [BET法]）とアクリル酸-アクリル酸ソーダ共重合架橋体の高吸水性樹脂を基材とし、これに石灰系膨張材（比重3.13）をプレミックスして試製したものを混和材（以下NBCと略記）として用いた。高性能A E減水剤（SP）は、表-1に示す6種類（主成分の違いは5種類）のものを用いた。

コンクリートの配合は表-2に示す通りで、練り上り直後のスランプフローが450±50mmとなる条件で、良好なコンシステンシーが得られる単位結合材量および細骨材率を試練りによって定めた。単位水量は185 kg/m<sup>3</sup>とし、SPの添加量は、高炉セメントB種を用いた場合で

表-1 高性能A E減水剤の種類

種類	主成分
A, B	アニオン型特種高分子活性剤
C	変性リグニールアルキルアルコール、活性持続剤マ-の複合物
D	芳香族アミノアルコール系高分子化合物
E	特殊アルコール基、カルボキシル基含有多元アルコール
F	ナフタリンスルホン酸縮合物リグニールアルコール誘導体

表-2 コンクリートの配合表

セメントの種類	水結合材比 W/(C+NBC) (%)	s/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )					高性能AE減水 剤 (SP) 結合材×%
			水	セメント	細骨材	粗骨材	NBC	
高炉B種	37.0	50.0	185	478	823	829	22	表-3に示す
普通セメント	"	"	"	"	831	837	"	

450±50mmのスランプフ  
ローが得られる量とした。  
普通セメントを用いた場  
合のSPの添加量は、高

表-3 高性能AE減水剤の添加量

高性能AE減水剤の種類	A	B	C	D	E	F
添加量 (結合剤×%)	1.8	1.4	1.35	1.35	0.8	1.3

炉セメントB種の場合と同じにした。なお、SPの添加量は結合材(セメント+NBC)に対する重量比で示し、練り混ぜ水の内割りで使用した。空気量は、それぞれのSPの専用のAE助剤を用いて調整が可能であるが、鋼管充てんコンクリートは凍結融解抵抗性を考慮しての空気量の調整は必要ないものと考えられ、本試験においてはAE助剤は用いずに、SPの種類の違いによる特性として空気量を把握した。

### 3. 2 試験結果および考察

高炉セメントB種を使用した場合で、同一のスランプフロー値を得るためのSPの添加量は、表-3に示す通り、SPの種類によって異なり、本試験条件の範囲では0.8~1.8%と大きく離れた。SPの種類を変えた場合のコンクリートの物性を表-4に示し、スランプフローの経時変化を図-1に示す。普通セメントを使用した場合のSPの添加量は、高炉セメントB種を使用した場合と同じとし、この時、練り上り直後のスランプフローは高炉セメントB種とほぼ同じスランプフローが得られるが、経時変化は高炉セメントB種と普通セメントとでは大きく異なり、いずれのSPの場合においても普通セメントの方が経時変化は小さい。特にSPのAとCは20分

表-4 SPの種類を変えた場合のコンクリートの物性

セメントの種類	SPの種類	凝結時間(時-分)		スランプ (cm)	スランプロー (mm)	空気量 (%)	カーブング 率(%)	圧縮強度(kgf/cm <sup>2</sup> )		
		始 発	終 結					1日	7日	28日
高炉セメントB種	A	24-05	26-50	24.5	490	4.4	1.97	-	337	554
	B	15-18	18-50	24.0	485	1.4	2.52	33	402	702
	C	16-20	19-10	23.5	450	1.6	3.37	37	378	685
	D	9-10	11-25	24.0	445	1.0	1.70	76	442	694
	E	10-55	13-20	24.0	470	1.7	1.49	60	445	682
	F	9-50	12-15	23.5	465	1.2	2.16	63	388	616
普通セメント	A	18-05	19-55	22.5	420	5.8	0.87	48	457	626
	B	12-30	14-35	23.5	540	1.3	2.57	143	532	711
	C	13-30	15-30	24.5	470	2.0	2.23	136	528	689
	D	8-55	10-30	22.0	385	1.7	1.87	173	530	712
	E	9-25	11-20	23.5	405	2.1	0.59	174	519	687
	F	9-50	11-40	23.0	425	1.8	1.12	175	507	627

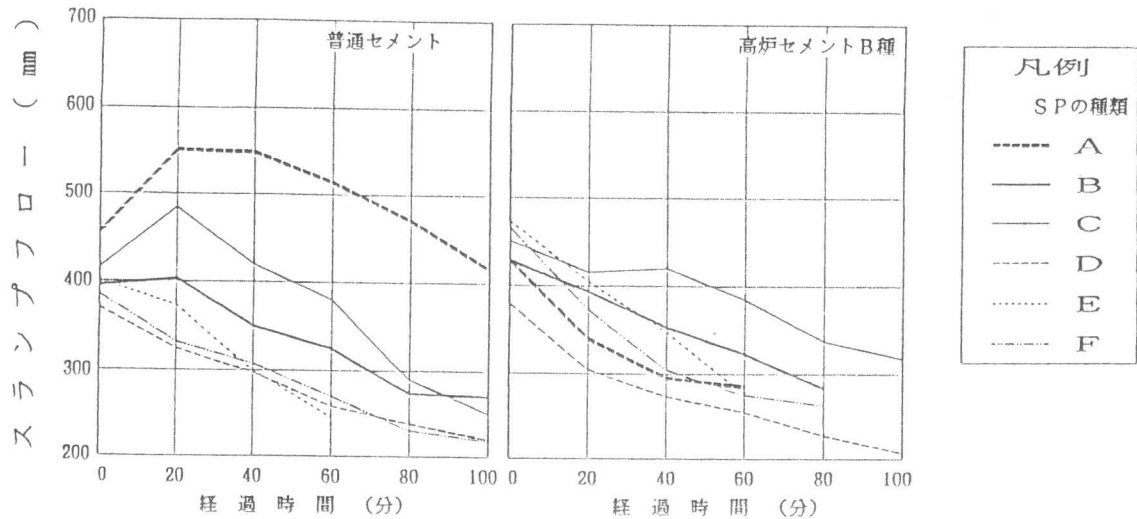


図-1 スランプフローの経時変化

経過時に練り上り直後よりもスランプフローは大きくなり、その後徐々に小さくなるが、練り上り時のスランプフローの値になるのはSPのAの場合は約80分経過後で、Cの場合は約40分後である。スランプおよびスプレッド試験による流動性の経時変化もスランプフローの傾向にほぼ同様であった。高炉セメントの場合の凝結時間は、SPのAが最も遅く始発で約24時間、BおよびCは約16時間、D、EおよびFは約10時間前後である。普通セメントの場合はSPのA、BおよびCは速まるが、他の3種については大差はない。空気量は、SPのAが他よりも大きく、高炉セメントの場合に4.4%、普通セメントの場合に5.8%であり、他のSPの場合は高炉セメント、普通セメントの場合とも1~2%の範囲であった。圧縮強度は、材令1日においては高炉セメント、普通セメント共に凝結速度と良い相関がある。材令7日以後の圧縮強度はSPのAが小さいが、これは空気量が他よりも大きいためであり、他はSPのFが若干小さい傾向にあるが強度発現性状は良好である。

図-2に経過時間とブリージング率との関係を示す。高炉セメントと普通セメントとでは、いずれのSPの場合も後者の方がブリージングの発生する速度が緩やかな傾向で、最終的なブリージング率も小さい。これは凝結速度の違いによる影響と思われる。

ところで、凝結時間の最も遅いSPのAの場合に、いずれのセメントの場合もブリージングの発生する速度が他のSPよりも緩やかであるが、これは、空気量が大きかったためと考えられ、適度な空気泡を連行させることはブリージングの抑制に効果があるものと推察される。

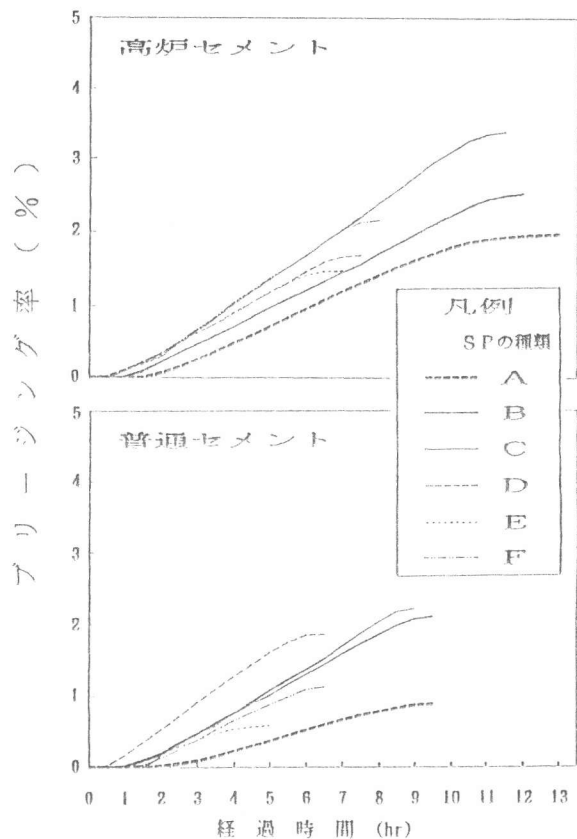


図-2 経過時間とブリージング率との関係

#### 4. 模擬柱試験体による物性試験（シリーズII）

試製した鋼管充てんコンクリート用混和材「NBC」を用いたコンクリートの基礎的物性を把握するため、生コンプラントで製造したコンクリートをアジテート車で運搬し、断面 600mm角で高さ2400mmの模擬柱試験体型わくにコンクリートを打設した。試験は、模擬柱試験体コンクリート天端の変位およびコア供試体による圧縮強度について実施した。なお、実験に先立ち、コンクリートを製造する生コンプラントで使用の材料を用いて、試験室で予備試験を行った。

##### 4. 1 試験室における予備試験

(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および高炉セメントB種、細骨材は木更津産山砂（比重2.58, 粗粒率2.63）、粗骨材は大船渡碎石2005（比重2.70, 粗粒率6.62）、混和材はNBC、混和剤はAE減水剤標準型、高性能AE減水剤のAを用いた。予備試験で検討したコンクリートの配合を表-5に示す。コンクリートの種類は、設計基準強度210kgf/cm<sup>2</sup>でスランプ18cmの通常のコンクリート（N）、NBCを用いないで単位結合材量が500kg/m<sup>3</sup>（B）、単位結合材量が500kg/m<sup>3</sup>でNBCが30kg/m<sup>3</sup>（S）、単位結合材量が500kg/m<sup>3</sup>でNBCが22kg/m<sup>3</sup>（L）の4種類である。

表-5 予備試験のコンクリートの配合表

種類 記号	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )						
			水	セメント	細骨材	粗骨材	NBC	AE減水剤	SP-A
(N)	65.5	48.0	176	269	867	980	—	0.673	—
(B)	37.0	50.0	185	500	813	851	—	—	9.0
(S)	"	"	"	470	810	848	30	—	11.0
(L)	"	"	"	478	811	848	22	—	10.0

注) 配合(N)は普通セメント、配合(B)、(S)、(L)は高炉セメントB種

(2) 試験結果：フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度試験結果を表-6に示す。NBCの使用量が増すにつれて、使用しない場合(B)と同一のスランプフローを得るためのSPの添加量が大きくなる。このため凝結が遅延し、材令1日での圧縮強度の発現はほとんどない。材令3日以後の強度もNBCを使用した場合の方が小さいが、空気量が大きかったことを考慮すると、材令3日以後の圧縮強度はNBCの使用量が0～30kg/m<sup>3</sup>の範囲では差がないといえる。

図-3に経過時間とブリージング率との関係を示す。設計基準強度210kgf/cm<sup>2</sup>でスランプ18cmのコンクリート(N)のブリージングは、発生速度が速く、3時間でブリージング水の発生は終了して最終的なブリージング率は4.34%である。一方、NBCを用いないで単位結合材量が500kg/m<sup>3</sup>(B)は、結合材量が大きいいため、(N)に比してブリージング水の発生する速度は緩やかであるが、ブリージングの終了する時間が著しく遅く、最終的なブリージング率は3.88%であり、結合材量が大きいことの効果はほとんどない。これに対して単位結合材量が500

kg/m<sup>3</sup>でNBCが22kg/m<sup>3</sup>

表-6 フレッシュコンクリートの性状および圧縮強度

種類 記号	スランプ (cm)	Flow (mm)	Air (%)	圧 縮 強 度 (kg f/cm <sup>2</sup> )				
				1日	3日	7日	28日	91日
(N)	18.0	—	3.5	47	132	226	310	352
(B)	23.5	450	3.4	34	186	367	556	655
(S)	23.5	465	4.8	2	164	330	526	639
(L)	23.0	440	4.6	5	169	345	521	668

(L) のブリージング率は 0.37 % であり、NBCのブリージング低減効果が著しく大きいことが判る。NBCが  $30 \text{ kg/m}^3$  (S) の場合には、(L) よりもさらにブリージング率は小さくなり、またブリージングの終了する時間も短い。しかし、(S) と (L) の差は僅かであり、NBCの使用量が増すと、所定の流動性を得るためのSPの添加量を大きくする必要があり、初期の強度が小さくなるため、実用的なNBCの使用量は  $22 \text{ kg/m}^3$  程度が良い。

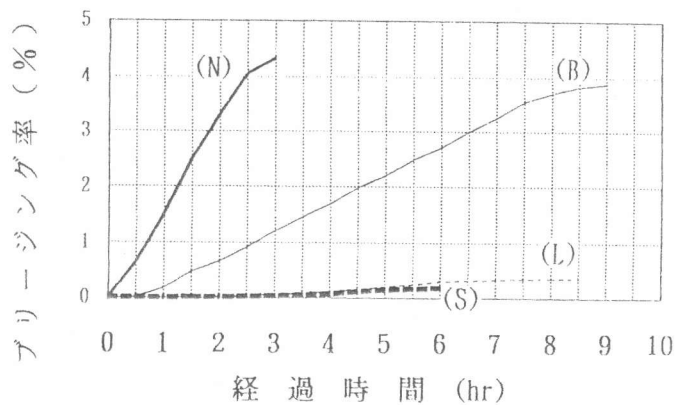


図-3 経過時間とブリージング率との関係

なお、この予備試験の(L)のブリージング率は 0.37 % であるのに対して、(L)と同様の配合でのシリーズ I におけるブリージング率(骨材の種類が異なる)は 1.97 % であり、NBCを用いた場合においても一般のコンクリートと同様に、骨材の種類(品質)がブリージングに及ぼす影響はかなり大きいといえる。

#### 4. 2 模擬柱試験体による物性試験

(1) 使用材料、配合および試験方法：コンクリートの使用材料は予備試験の場合と同一のもので、配合は予備試験の結果から、単位結合材量が  $500 \text{ kg/m}^3$  でNBCが  $22 \text{ kg/m}^3$  (L) を採用した。ただし、実験の実施時期は1月で温度が低く、凝結硬化がかなり遅延することが予想されたので、セメントは普通セメントを用いた。供試コンクリートは  $5 \text{ m}^3$  製造し、アジテート車に積載して運搬し、練上りから30分経過後に荷卸しして模擬柱試験体に打設するとともに、アジテート車に残った約  $4 \text{ m}^3$  のコンクリートについて、練上りから2時間経過後まで30分毎に経時変化を測定した。模擬柱試験体コンクリート天端の変位は、打設直後に変位計を5ヵ所にセットして測定した。模擬柱試験体コンクリートの強度は、柱軸方向を3ヵ所コア抜き( $\phi 10 \text{ cm}$ )したものを長さ20cmに切断した供試体により、打設高さ方向別に強度を測定した。

(2) 試験結果：出荷時のスランプフローは 420mm で2時間経過後に 340mm となり、時間の経過と共に小さくなったが、スランプは出荷時に18.5cm、2時間経過後も18.5cmであり、流動性の経時変化は小さかった。空気量は出荷時に4.7 %で、30分後に3.3 %と小さくなったがその後3 %前後で安定した。コンクリート温度は約13℃で、外気温度は約7℃であった。

コンクリートの圧縮強度を表-7に示し、模擬柱試験体のコア強度を図-4に示す。模擬柱試験体コンクリートのコア強度(材令28日)は、模擬柱試験体の上部(コア供試体N0.11側)の方が下部(同N0.1側)よりも小さい傾向にあるが、平均値は  $438 \text{ kgf/cm}^2$  であり、現場水中養生強度の  $450 \text{ kgf/cm}^2$  と大差はない。

模擬柱試験体コンクリート天端の変位を図-5に示す。模擬柱試験体コンクリート天端の変位は、打設以後約65時間経過まで膨張側で増減し、その後約130時間経過まで膨張側から沈下側へと、または沈下側から膨張側へ

表-7 コンクリートの圧縮強度

養生	経過時間 分	圧縮強度 ( $\text{kgf/cm}^2$ )			
		3日	7日	28日	91日
標準養生	0	266	407	509	—
	30	273	403	513	638
	90	289	407	568	—
現場水中	30	216	311	450	563

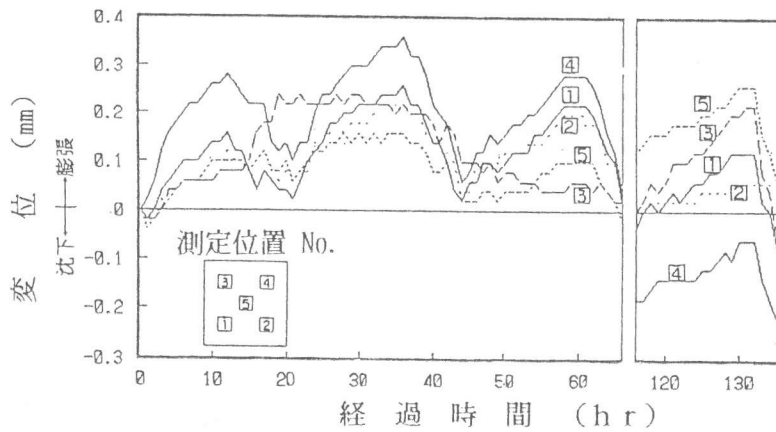


図-5 模擬柱試験体コンクリート天端の変位

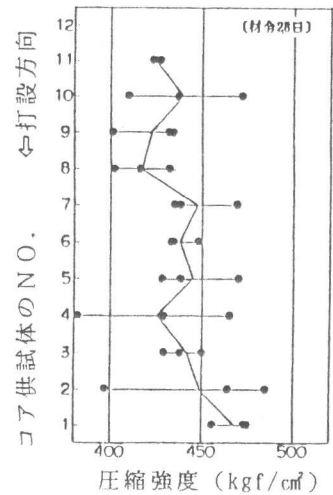


図-4 模擬柱試験体のコア強度

とほぼ24時間の周期で増減している。NBCには膨張材を混和しているが、これの目的は鋼管に充てんしたコンクリートの収縮を小さくしようとするもので、使用量は通常の膨張コンクリートとして用いられる $30\text{kg}/\text{m}^3$ の約 $1/3$ の $9.6\text{kg}/\text{m}^3$ であり、無拘束膨張率は膨張材を用いない場合と大差ない[3]とされている。従って、打設以後約65時間経過まで膨張側へと変位するのは、セメントの水和発熱に起因する体積膨張で、周期的な変位の増減は外気温度の変化による影響と思われる。

## 6. まとめ

本実験は、鋼管充てん用コンクリートに試製した分離防止材を使用したコンクリートについて、高性能AE減水剤の種類の違いによる影響を検討し、また、実構造物への適用の基礎的資料を得るために模擬柱試験体による物性を検討した。本実験の範囲内で得られた結果を要約すると次のとおりである。

- (1) 練り上り直後のスランプフローは高炉セメントB種と普通セメントとで差はないが、いずれの高性能AE減水剤においても普通セメントの方が経時変化は小さい。
- (2) ブリージングは普通セメントの方が高炉セメントB種よりも発生する速度が緩やかな傾向で、最終的なブリージング率が小さい。
- (3) 試製した分離防止材の使用量が増すにつれてブリージング低減効果は大きいですが、流動性を確保するために高性能AE減水剤の添加量を大きくする必要があり、このために凝結が遅れて初期の強度が小さくなるため、実用的な分離防止材の使用量は $22\text{kg}/\text{m}^3$ 程度が良い。
- (4) 模擬柱試験体コンクリート天端の変位は打設以後約65時間経過まで膨張側を示した。

## 参考文献

- 1) 遠藤克彦ほか：コンクリート充填角型鋼管柱の充填性に関する実験的研究、三井建設技術研究所報、No. 13、pp. 147-152、1989
- 2) 和泉意登志ほか：充填型鋼管コンクリート柱の圧入施工実験、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 935-936、1989. 10
- 3) (社)日本建築学会：膨張材を使用するコンクリートの調合設計・施工指針案・同解説、日本建築学会、pp. 99-114、1982