

報告 シリカフェームを用いた高性能コンクリートによるPC桁の施工

樋口正典*1・大中英揮*2・藤田 学*3・竹内 光*4

要旨：日本道路公団と民間4社は、締固め不要性能、高強度および高耐久性を有する高性能コンクリートについて、共同研究を行っている。本報では、その内シリカフェームを用いた高性能コンクリートの配合、品質およびPC桁の施工例について報告する。施工に使用されたコンクリートの材齢28日圧縮強度は現場養生で平均 774kgf/cm^2 であった。また、ポンプ圧送により空気量が著しく減少したが、所定の凍結融解抵抗性は確保されていることが確認された。製造時のミキサ電力負荷(練上り時)とスランブフロー時間およびVロート時間の間には、ばらつきは大きいものの線形的な関係がみられた。

キーワード：高流動コンクリート，プレストレストコンクリート

1. はじめに

日本道路公団において汎用的に使用されているコンクリートのなかで最も高い性能を有するものは、PC構造物に用いるコンクリート(以下、 $P_{2.2}$ コンクリートと呼ぶ)であり、その主たる要求性能は、設計基準強度(材齢28日) 400kgf/cm^2 、プレストレス導入時の圧縮強度(材齢3日程度) 325kgf/cm^2 およびスランブ 8cm である。

現在、日本道路公団と民間4社は、この $P_{2.2}$ コンクリートよりも高い性能、自己充填性(締固め不要)、高強度および高耐久性を有する高性能なコンクリート(以下、高性能コンクリートと呼ぶ)について、共同研究を進めている。そして、この高性能コンクリートの汎用化により、新しい構造の設計、施工の省力化およびランニングコストを含めた建設・管理費の軽減が期待される。

本報では、シリカフェームを用いた高性能コンクリートの配合および品質例を述べるとともに、ポストテンションI桁の実施工例について報告する。

2. 高性能コンクリート

2.1 材料および配合

高性能コンクリートおよび比較用 $P_{2.2}$ コンクリートに使用した材料の品質を表-1および表-2に示す。高性能コンクリートには混和材としてシリカフェームを使用した。一般的に高流動コンクリートでは、材料分離を低減するために適度な粘性を必要とするが、過度の粘性は変形性能(自己充填性)を損なう結果となる。そこで、シリカフェーム(微粒子)を加えることにより粉体の実積率を上げ、高強度化すなわち水セメント比の低減に伴う過度の粘性増加を抑えることを考えた。[1]骨材については、製造を行うプラントで使用されているものを用いた。

高性能コンクリートの配合は室内配合試験により選定し、実際のプラントでの製造試験により修正を行った。配合条件はスランブフロー値 $60\pm 5\text{cm}$ (目視による低分離の確認)、空気量 $4.5\pm$

*1 三井建設(株)技術研究所主任研究員(正会員)

*2 日本道路公団試験研究所橋梁研究室

*3 住友建設(株)技術研究所主任研究員(正会員)

*4 三井建設(株)技術研究所主任研究員(正会員)

1%、V_{7.5}ロータ[2]流出時間(表-4)10秒程度、材齢3日圧縮強度380kgf/cm²以上、材齢28日圧縮強度590kgf/cm²以上とした。室内配合試験時の練混ぜ方法は、パン型強制練りミキサ(容量0.1m³)を用い、セメント、シリカフェーム、骨材で空練り30秒、水および混和剤を加え、本練り180秒とした。高性能コンクリートおよび比較用P_{2.2}コンクリートの室内および現場(プラント)配合を表-3に示す。

2.2 製造

高性能コンクリートの練混ぜ方法については、実際に製造を行うプラントでの製造試験において決定した。使用したミキサは2軸強制練りミキサ(容量2m³)であり、1バッチの練混ぜ量は1.5m³とした。材料の投入は、製造プラントにおいて通常行われている方法に準じ、細骨材、セメント、シリカフェーム、水、高

表-1 使用材料の品質

セメント	普通ポルトランドセメント(NP)
	比重 3.15 比表面積 3290cm ² /g
シリカフェーム (Si)	早強ポルトランドセメント(HP)
	比重 3.13 比表面積 4360cm ² /g
細骨材(S)	カナダ産 比重 2.18 比表面積 18-20m ² /g
粗骨材(G)	福島県いわき市大久町産 山砂
	表乾比重 2.58 吸水率 1.74% 実積率 68.5% 粗粒率 2.59
高性能AE減水剤	福島県双葉郡富岡町産 砕石
	最大寸法 25mm 表乾比重 2.72 吸水率 0.74% 実積率 61.6% 粗粒率 6.87
高性能AE減水剤	芳香族アミノスルホン酸系(SP1)
	ポリカルボン酸系(SP2)

表-2 骨材の粒度分布

骨材種別	ふるい[mm]／通過百分率[%]										
	30	25	20	15	10	5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15
細骨材						100	86	72	52	26	6
粗骨材	100	98	77	62	27	4	1				

表-3 コンクリートの配合

コンクリート種別	配合種別	W/P [%]	s/a [%]	air [%]	単位量 [kg/m ³]						SP1 [%]*	SP2 [%]*
					NP	HP	Si	W	S	G		
高性能コンクリート	室内	30.0	50.0	4.5	477	-	36	154	818	861	1.7	-
	現場	31.6	50.0	4.5	473	-	36	161	811	854	1.9-2.2	-
P _{2.2} コンクリート	室内	41.0	44.5	4.5	-	385	-	158	775	1019	-	1.0
	現場	41.5	44.5	4.5	-	398	-	165	761	1005	-	1.1

P：セメント(NP or HP)+シリカフェーム(Si)

* P×wt%

性能AE減水剤、粗骨材の順に約30秒間で投入した。練混ぜ時間については、全材料投入後の時間を設定することとし、練混ぜに伴うミキサ電力負荷値の安定(図-1)およびコンクリートの練混ぜ性能試験(JIS A 1119)の結果から60秒間とした。全材料投入後の練混ぜ時間を60秒間とした場合の練混ぜ性能試験の結果は、コンクリート中のモルタルの単位容積質量差およびコンクリート中の単位粗骨材量の差が0.11%(許容値0.8%)および0.84%(許容値5%)であり、均一に練り混ぜられているものと判断した。また、高性能AE減水剤を用いたコンクリートの練混ぜ時間については、スランプ保持性能との関連が報告[3]されており、練混ぜ不足および過多においてスランプの経時変化(増加および減少)が生ずるとされている。そこで、全材料投入後の練混ぜ時間を60秒間とし、練上り時および約30分経過後のスランプフロー値について比較を行った。その結果、練上り時63cm、約30分経過後61.5cmと大きな変化はみられず、この結果からも適切な練混ぜ時間であると考えた。

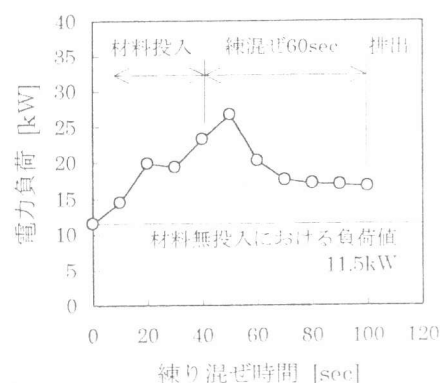


図-1 ミキサの電力負荷

2.3 品質

高性能コンクリートおよびP_{2.2}コンクリートの凝結試験(JIS A 6204)の結果を図-2に示す。高性能コンクリートの凝結時間は、P_{2.2}コンクリートに比べ、遅延する傾向にある。また、ブリーディング試験(JIS A 1123)を行ったが、高性能コンクリートではブリーディングが認められなかった。

材齢3-28日における圧縮強度と静弾性係数の関係を図-3に示す。高性能コンクリートの圧縮強度と静弾性係数の関係は、ほぼP_{2.2}コンクリートに等しく、現場配合の若材齢(3日)を除いて考えれば、コンクリート標準示方書[4]に示される一般的な関係にほぼ等しい。

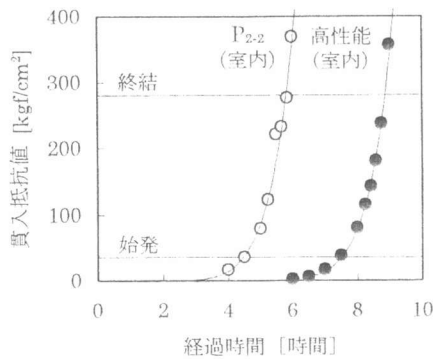


図-2 凝結時間

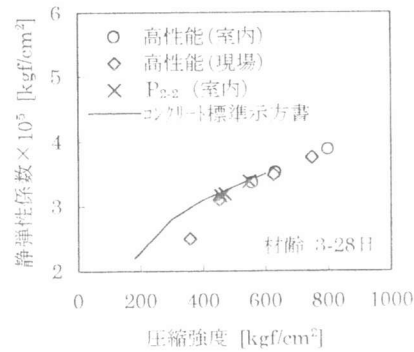


図-3 静弾性係数と圧縮強度の関係

乾燥収縮試験(JIS A 1129)の結果を図-4に示す。高性能コンクリートの乾燥収縮は、P_{2.2}コンクリートに比べ小さい。重量減少についても同様の傾向にあった。

圧縮クリープ試験の結果を図-5に示す。載荷応力度はいずれも100kgf/cm²(P_{2.2}コンクリートを使用したポストテンション桁の下縁応力度に相当する値)とし、材齢3日まで標準養生を行い材齢4日に載荷した。高性能コンクリートのクリープひずみは、載荷初期段階において、P_{2.2}コンクリートを上回るが、試験材齢約90日でほぼ同様となり、その後は逆転する傾向にある。クリープ係数についても同様な傾向にあり、試験材齢182日におけるクリープ係数はP_{2.2}コンクリート1.39、高性能コンクリート1.32である。

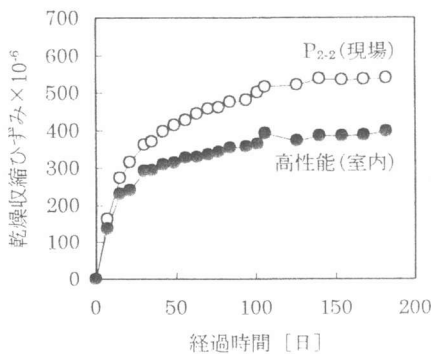


図-4 乾燥収縮

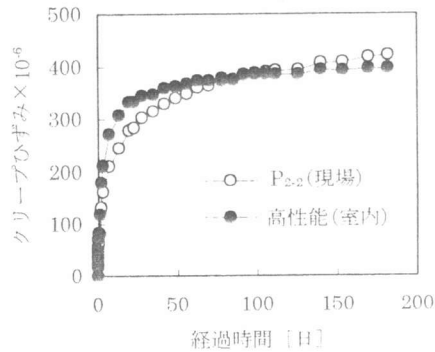


図-5 クリープひずみ

凍結融解試験(JIS A 6204)の結果を図-6に示す。P_{2.2}コンクリートの相対動弾性係数は、300サイクルまでほぼ100%を維持したが、高性能コンクリートでは、250サイクル以降急激に低下する傾向を示した。その劣化はひび割れの発生によるものであり、スケーリングはほとんどみられな

かった。このひび割れの発生が急激な劣化を引き起こすと考えられるが、その発生機構については明らかではない。凍結融解抵抗性については、劣化現象を含め、今後さらに検討が必要であると考え。

3. 高性能コンクリートの施工

高性能コンクリートを施工したのは、磐越自動車道新館高架橋最終径間(P8~A2)のポストテンション1桁(桁長 34.5m)4本であり、コンクリート量で約137m³になる。1桁の断面図を図-7に示す。

コンクリートの品質試験は、プラント出荷時、現場荷卸時およびポンプ圧送後に行い、その項目および頻度は表-4に示すとおりである。運搬はアジテータトラックを用いて行い、積載量4.5m³、所要時間は約20分であった。

フレッシュコンクリートの品質試験の結果を図-8、練上り時のミキサ電力負荷値とフレッシュ品質(出荷時のスランプフロー値、フロータイムおよびV_{7.5}ロート流出時間)の関係を図-9に示す。スランプフロー値、フロータイムおよびV_{7.5}ロート流出時間については、出荷時のばらつきも比較的小さく、運搬およびポンプ圧送による大きな変化も認められなかった。練上り時のミキサ電力負荷値との関係については、フロータイムおよびV_{7.5}ロート流出時間で、ばらつきは大きいものの正の相関がみられた。スランプフロー値との関係は認められなかった。ミキサ消費電力とモルタル粘度の関係については水門らの報告[5]があり、ミキサ電力負荷(消費電力)はコンクリート粘度によって変化するものと考えられる。

空気量についてはポンプ圧送による減少が著しく、凍結融解抵抗性に与える影響が懸念された。そこで、筒先から採取した空気量2.0%(測定値)のコンクリートについて凍結融解試験を行った。その結果を図-10に示す。試験前の養生条件は異なるものの、300サイクルまでの相対動弾性係数はほぼ100%であった。JIS A 6204では200サイクル、日本道路公団規格(JHS 308)では300サイクルまでの測定と

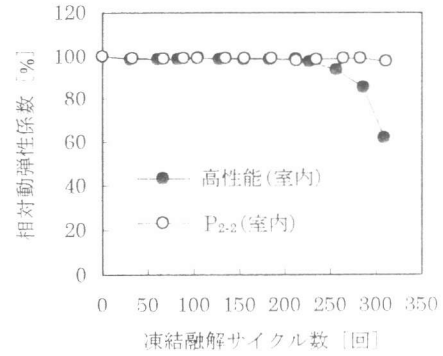


図-6 凍結融解試験結果

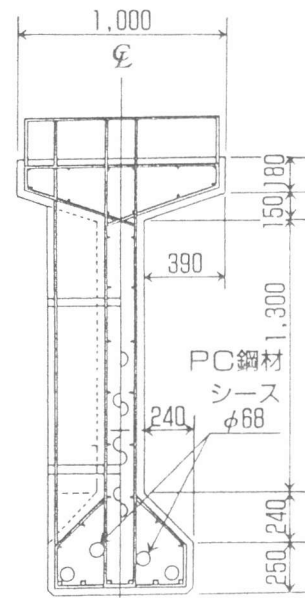
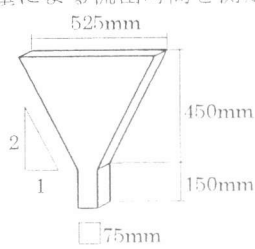


図-7 1桁の断面図

表-4 品質試験の項目および頻度

試験項目	試験頻度	試験方法
スランプフロー試験	全車*	スランプフロー値の測定 フロータイムの測定 (コン引上げから70~50cmまでの時間) 目視による低分離の確認
空気量試験	全車*	JIS A 1128に準ずる
V _{7.5} ロート試験[2]	全車*	下図のロートにコンクリートを充填し、自重による流出時間を測定する 
圧縮強度試験	2車/桁**	JIS A 1108に準ずる

* 出荷時、荷卸時および圧送後

** 出荷時および圧送後

なっていることから所定の凍結融解抵抗性は確保されていると考えられるが、300サイクル以降急激に劣化する傾向にあり、その劣化状況は室内配合での試験結果(図-6)と同様であった。

圧縮強度試験の結果を図-11に示す。現場養生において、 546kgf/cm^2 (材齢4日)、 774kgf/cm^2 (材齢28日)の圧縮強度が得られている。

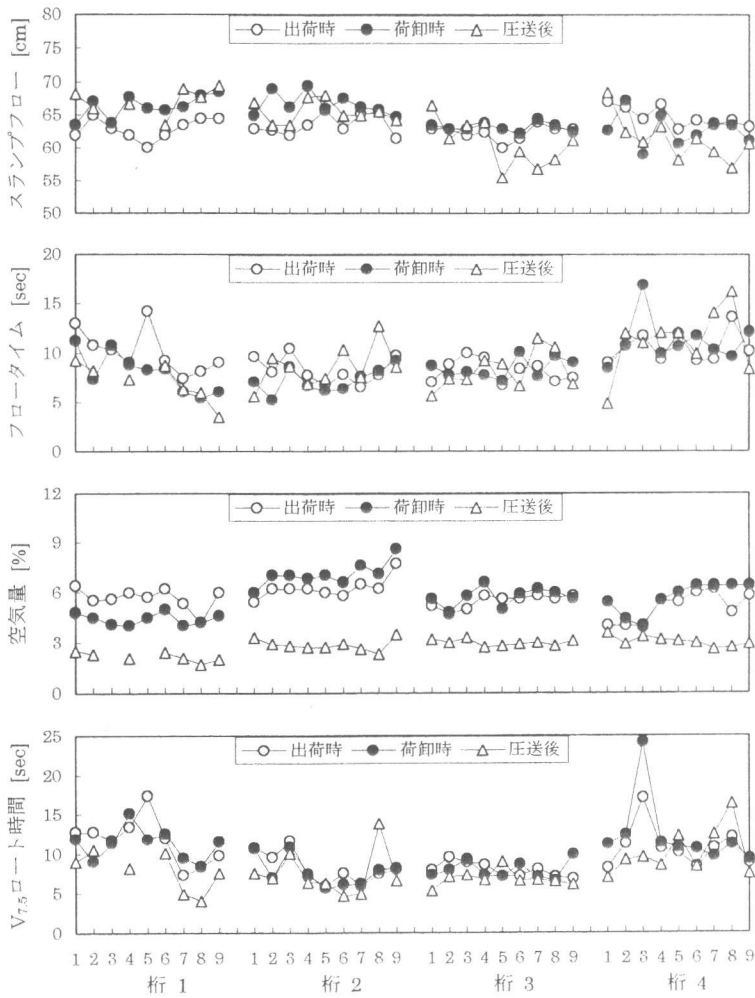


図-8 フレッシュコンクリートの品質

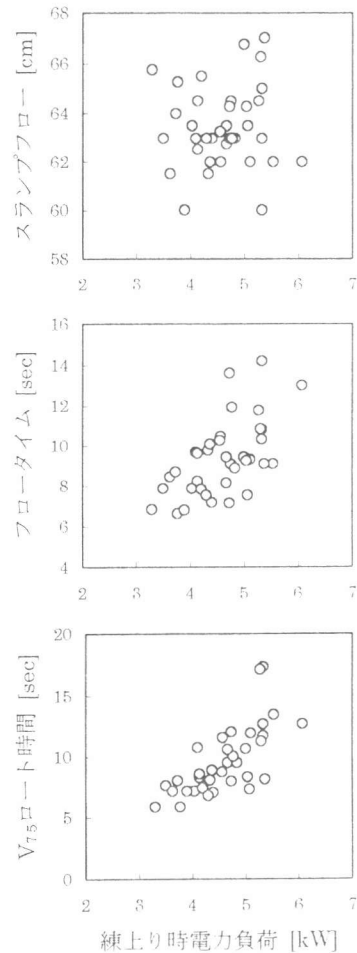


図-9 ミキサ電力負荷値とフレッシュ品質の関係

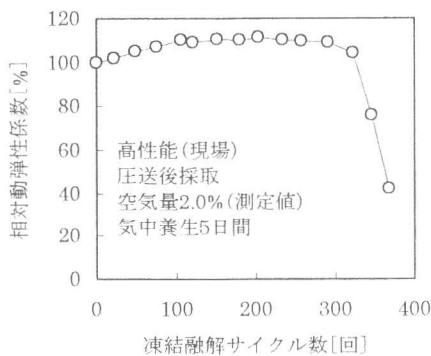


図-10 凍結融解試験結果(圧送後試料)

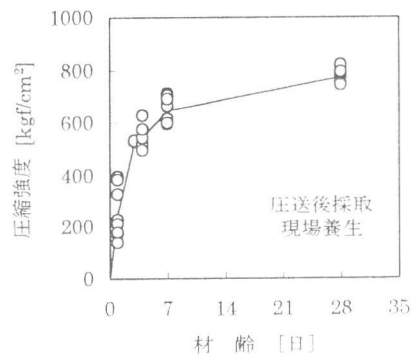


図-11 圧縮強度(現場養生)

コンクリートの打込みはブーム付きコンクリートポンプ車(IPF110B-7E21)を用いて行った。

打込み速度は $15\text{m}^3/\text{h}$ 程度($\text{P}_{2.2}$ コンクリートの打込みは $10\text{m}^3/\text{h}$ 程度)とし、筒先を順次移動して5箇所(天端レベル調整時は9箇所)から打ち込んだ。打込みは桁上部から行ったが、コンクリートの落下に伴う空気の巻き込みを防ぐために筒先をできるだけ下げて打ち込むこととした。高性能コンクリートの打込み状況を写真-1に示す。

打込み完了後天端の仕上げを行ったが、高性能コンクリートはブリーディングがほとんどなく、プラスチックひび割れを生じやすいため、仕上げ後表面に水を噴霧し湿潤を保った。また、養生は夜間気温が氷点下になることから、全面養生シートで覆い、内部にジェットヒータを設置する冬期養生を行った。

PC桁の完成状況を写真-2に示す。ウエブ部分に気泡が認められたが、充填不良箇所は認められず、高性能コンクリートの自己充填性は良好であったと考える。

4. おわりに

$\text{P}_{2.2}$ コンクリートより高強度で自己充填性を有するシリカフェームを用いた高性能コンクリートを製造、締固め作業を伴わずにPC桁を施工できることが確認できた。また、高性能コンクリートの製造および施工に関するデータも得られた。今後は、さらに多くのデータおよび知見を集め、材料(品質)、製造および施工の標準化を図ることが重要であると考え。そして、このコンクリートの性能を十分に引き出すことにより設計および施工の合理化が図れると考える。

最後に、本施工の実施にあたり、高性能コンクリート技術検討会委員長の東京大学工学部 岡村甫教授ならびに委員の皆様より貴重なご意見、ご指導を賜りました。また、施工を担当したピーシー橋梁(株)の皆様には多大なご協力を頂きました。ここに記して深謝の意を表します。

参考文献

- 1) 寺西浩司・岸谷孝一・江口 清・中込 昭：超高強度コンクリートの調合に関する一考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.14、No.1、pp.463-468、1992
- 2) 岡村 甫・前川宏一・小澤一雅著：ハイパフォーマンスコンクリート、技報堂出版、1993
- 3) 田中 斉・槇島 修・藤田孝雄・金井武明：高性能AE減水剤を用いたコンクリートの練り混ぜ特性に関する研究(その4)スランプ保持性能に及ぼす練り混ぜ時間の影響、日本建築学会大会学術講演梗概集、A、pp.983-984、1991
- 4) コンクリート標準示方書[設計編]、土木学会、1991
- 5) 水門直仁・宮脇卓哉・小澤一雅：ミキサーを用いたモルタルの粘度測定法、土木学会第49回年次学術講演会講演概要集、No.5、pp.188-189、1994

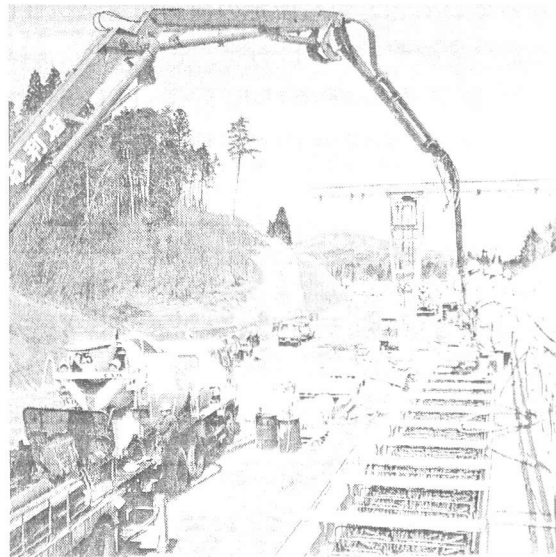


写真-1 コンクリート打込み状況

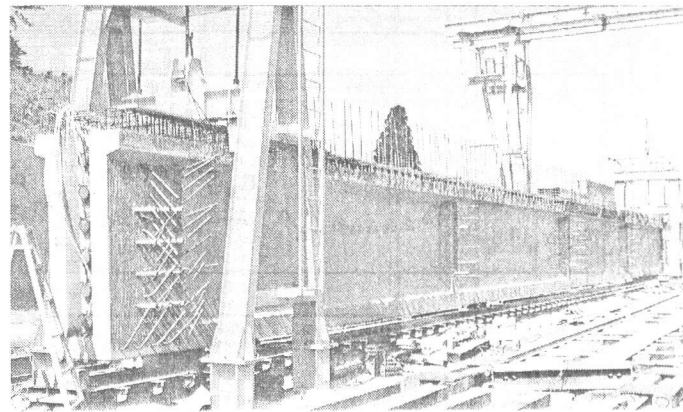


写真-2 PC桁の完成状況