

膨張材と収縮低減剤による各種コンクリートの収縮低減効果

三井住友建設(株)	正会員	博士(工学)	○谷口 秀明
三井住友建設(株)	正会員		浅井 洋
三井住友建設(株)		博士(工学)	樋口 正典
三井住友建設(株)	正会員	博士(工学)	三上 浩

1. はじめに

コンクリート構造物を長期的に供用するためには、ひび割れの発生を抑制し、発生後にはその幅を制御することが重要である。最近では、骨材の品質等の影響で、自己収縮ひずみ、乾燥収縮ひずみがいずれも2倍程度となるコンクリートによって甚大なひび割れが生じた橋梁の報告がある¹⁾。また、筆者らの調査²⁾によれば、PC橋を対象とした呼び強度40のレディーミクストコンクリートの標準配合には、スランプを限定しなければ、単位水量が200kg/m³、単位セメント量が600kg/m³を超えるものも存在する。したがって、計画・設計段階よりコンクリートの地域性を把握し、コンクリートの収縮が大きくなる可能性がある場合には、これを考慮した設計を行うか、収縮を低減させるための対策を講じる必要がある。

配合上の対策としては高性能 AE 減水剤等を使用し、単位水量を減じることが基本であるが、筆者の実験では、水セメント比を一定とし、単位水量を150kg/m³と185kg/m³とした場合の収縮ひずみの差は100×10⁻⁶程度である²⁾。また、施工段階の対策として養生剤の使用によって収縮ひずみを抑制できるが、実験の範囲で最も効果が高いものであっても、収縮ひずみの低減量は100×10⁻⁶程度である³⁾。それらの対策を組み合わせることで効果を高めることが可能であるが、収縮ひずみあるいは拘束が大きい条件では、さらなる対策が必要になる可能性がある。その一つとして、膨張材が耐震補強を対象とする巻立てコンクリート等に使用されている。しかし、これに関しても、筆者らの調査⁴⁾では、最大ひび割れ幅は0.1mmという微細なものが多いが、調査対象の全橋でひび割れが確認されており、必ずしも十分とは言えない。

そこで、本報では、今後の収縮ひび割れ対策の一つとして、膨張材と収縮低減剤を組み合わせたコンクリート(以下、低収縮コンクリートと呼ぶ)を取り上げ、通常のコンクリートおよび特殊コンクリートにおける収縮低減効果とコンクリート橋への適用事例を紹介する。

2. 低収縮コンクリートの収縮特性

2.1 実験方法

本章では、通常のコンクリートに対する膨張材および収縮低減剤の収縮低減効果を確認した。普通ポルトランドセメント(密度3.15g/cm³)、細骨材(鬼怒川産川砂、表乾密度2.56g/cm³、記号:S)および粗骨材(葛生産硬質砂岩系砕石2005、表乾密度2.67g/cm³、記号:G)を基本材料とし、膨張材(石灰系、記号:E)と収縮低減剤(低級アルコールアルキレンオキシド付加化合物界面活性剤、記号RS)を組み合わせた。

表-1に示すとおり、単位水量を一定とし、水結合材比(W/B)は40%、53%の2水準を設けた。単位結合材量は単位セメント量と単位膨張材量の合計で、単位膨張材量は製造者が示す標準使用量30kg/m³とした。スランプ(8~12cm)の調整には、W/B=53%ではAE減水剤(変成リグニンスルホン酸化合物)を、W/B=40%では高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系)を使用した。いずれの配合においてもAE剤を併用して空気量を4.5±1.0%の範囲に調整した。収縮低減剤は、単位結合材量に対して約2%に相当する使用量(W/B=53%では6kg/m³、W/B=40%では9kg/m³)を標準量とし、W/C=53%ではその1.5倍の使用量(9kg/m³)の効果も確認した。

長さ変化に伴う自由ひずみは、角柱供試体(100mm×100mm×400mm)内に設置した埋込みひずみ計によ

表-1 配合の基本条件

W/B (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)			
		W	B	S	G
53	47	168	316	824	975
40	43		420	725	995

W/B: 水結合材比, s/a: 細骨材率, W: 練混ぜ水, B: 結合材, S: 細骨材, G: 粗骨材

り測定を行った。養生方法としては、材齢7日まで水中養生を行った後、気中養生（温度 20℃、湿度 60%）のを行った場合と、打込み直後から気中養生とした場合を比較した。

2.2 実験結果および考察

コンクリートの自由ひずみの経時変化を、図-1 に示す。水結合材比の低下（単位結合材量の増加）および水中養生の不実施により、膨張材による初期の膨張ひずみは小さくなる傾向がある。また、水結合材比 53% では、収縮低減剤を 6kg/m³ 使用するよりも膨張材を 30kg/m³ 使用した方が収縮ひずみは多少小さくなるが、水結合材比 40% においては両者の違いは認められない。膨張材と収縮低減剤の併用により、収縮ひずみはそれらを用いない場合に比べて大幅に低減することが可能で、水中養生を行わない場合でも材齢 150 日で -200 ~ -300 × 10⁻⁶ 程度である。なお、水結合材比 53% においては、収縮低減剤を標準量の 1.5 倍使用しても、標準量との差異は認められない。

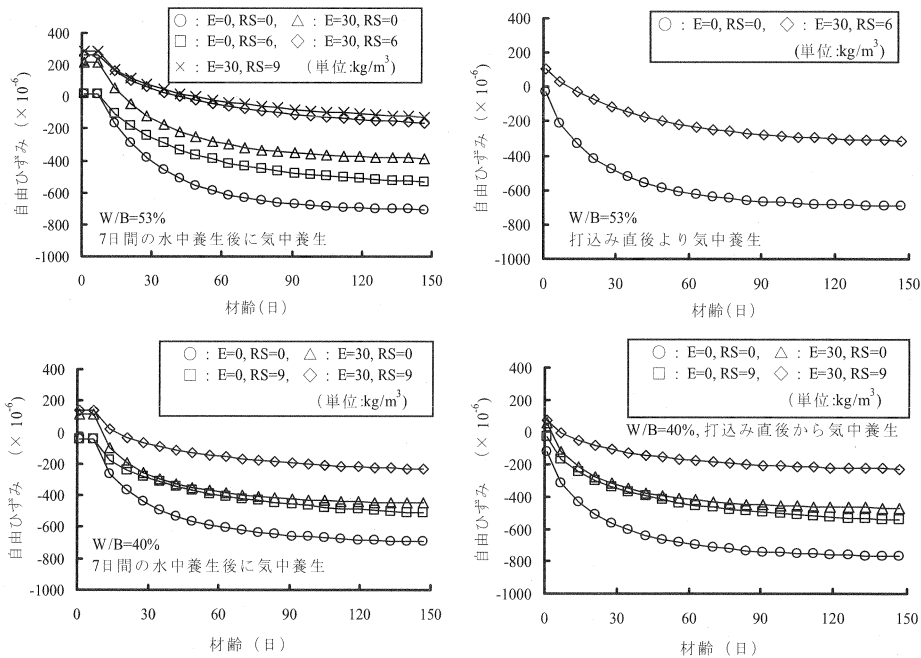


図-1 コンクリートの自由ひずみの経時変化

3. 膨張材と収縮低減剤の併用による特殊コンクリートの収縮低減効果

3.1 実験方法

高流動コンクリート、高強度コンクリート、軽量コンクリート等は、それぞれの性能を活かした様々な構造物の建設が期待できるが、それらのコンクリートは一般に単位セメント量が多くなる傾向があること等により、通常のコンクリートよりも収縮量が増加する可能性がある。そこで、本章では、前章で得られた結果をもとに、それらの特殊コンクリートに対する膨張材と収縮低減剤の併用による収縮低減効果を確認した。

コンクリートの使用材料、配合、フレッシュ性状および圧縮強度を、表-2 に示す。配合 A1 は、通常のスランプ 18cm 程度の高強度コンクリートで、配合 A2 の低収縮型高強度高流動コンクリートとの比較として用いた。配合 B1, B2 は、いずれの人工軽量粗骨材を使用した高強度高流動コンクリートで、膨張材と収縮低減剤の有無ならびに高性能 AE 減水剤の使用量以外の配合条件は一致させている。流動性状は、土木学会指針⁵⁾をもとに、自己充てん性ランク 1 に相当するものとして調整した。ひずみの測定方法は、2. と同一である。養生方法は、2. で述べた気中養生以外に、封緘養生（アルミ箔粘着テープでシールした状態）を行った。

3.2 実験結果および考察

特殊コンクリートの自由ひずみの経時変化を、図-2に示す。普通骨材を用いた高強度コンクリート(配合A1)の収縮ひずみは、封緘養生であっても自己収縮により材齢10日には約 -300×10^{-6} に達する。低収縮型高強度高流動コンクリート(配合A2)の収縮ひずみは、養生方法に関わらず、配合A1よりも相当に低減されており、自己収縮、乾燥収縮の双方の低減に効果が認められる。一方、人工軽量粗骨材を使用した場合には、膨張材と収縮低減剤の有無によらず、封緘養生では膨張ひずみを生じた状態で持続していることがわかる。これは、人工粗骨材の内部に含まれる水がセメントマトリックスに放出することで相対湿度の低下を抑制し、また、初期水合に必要な量を十分に上回る水量が供給され、自己収縮ひずみを低減させる働きがあることに起因するものである。しかし、乾燥環境下の収縮ひずみは、材齢270日で -900×10^{-6} に達しており、これに対して膨張材と収縮低減剤を併用すれば、1/3程度に低減できることがわかる。

表-2 特殊コンクリートの使用材料, 配合, フレッシュ性状および材齢28日の圧縮強度

	水結合材比, W/B (%)	水粉体比, W/P (%)	細骨材率, s/a (%)	単位量 (kg/m ³)										スランブ(cm)またはスランブフロー(mm)	500mmフロー時間(秒)	空気量(%)	V漏斗流下時間(秒)	U型充てん高さ(mm)	圧縮強度 (N/mm ²)		
				W	P			S			G		SP						RS	標準水中養生	気中養生
					C	E	LF	S1	S2	GN	GL										
												0									
A1	30.0	30.0	40.3	150	500	0	0	330	343	1020	0	7.5	0.0	18.5	—	4.1	—	—	82.5	79.9	
A2	35.0	30.2	52.7	175	480	20	79	554	248	742	0	12.7	9.0	655×680	6.6	3.8	12.8	345	78.9	76.6	
B1	36.5	31.3	52.7	175	480	0	79	554	248	0	372	12.8	0.0	625×645	5.8	5.0	15.2	325	67.8	61.3	
B2	36.5	31.3	52.7	175	460	20	79	554	248	0	372	13.4	9.0	645×670	7.6	3.5	18.1	340	68.4	63.3	

C: 早強ポルトランドセメント(密度3.13g/cm³), E: 膨張材(石灰系, 低添加型, 密度3.16g/cm³), LF: 石灰石微粉末(密度2.64g/cm³), S1: 川砂(表乾密度2.54g/cm³), S2: 砕砂(表乾密度2.64g/cm³), GN: 砕石2005(絶乾密度2.65g/cm³), GL: 軽量粗骨材(絶乾密度1.33g/cm³), SP: 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系), RS: 収縮低減剤(低級アルコールアルキレンオキンド付化合物界面活性剤)

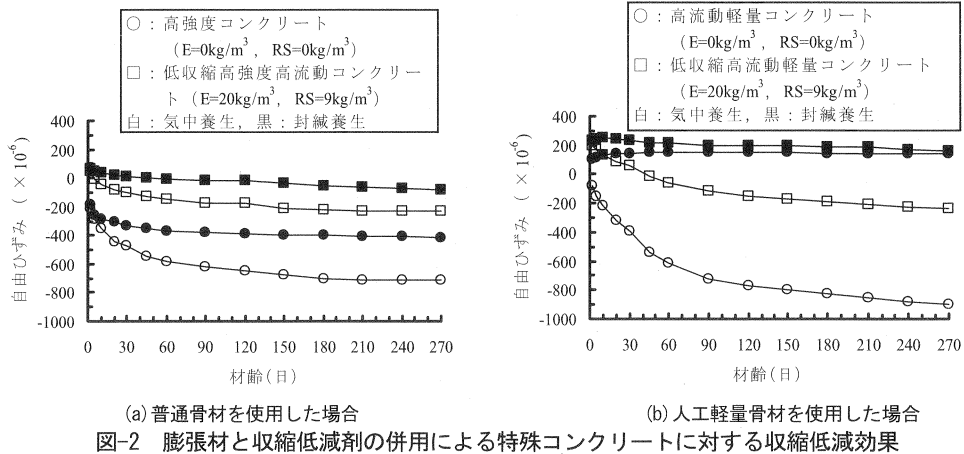


図-2 膨張材と収縮低減剤の併用による特殊コンクリートに対する収縮低減効果

4. 低収縮コンクリートのコンクリート橋への適用事例

4.1 美観を重視したRC張出し床版への適用

対象とする橋梁は、橋長が30.4m、幅員が車道7m、歩道3.5~4.37mのポストテンションPC単純T桁である。RC張出し床版は、写真-1に示すように水平、鉛直の両方向に対して曲線を活かしたデザインが採用されている。仕上り面の品質には高い水準が求められ、特にひび割れを発生しないことが必要条件とされた。しかし、RC張出し床版は主桁を架設した後に現場打ち工法によって構築するため、主桁による拘束で収縮ひび割れを生じる可能性があった。そこで、3.での検討結果をもとに、模擬試験体(橋軸方向1/2の切出しモデル)において6ヶ月後までひび割れを発生しないことを確認した上で、低収縮コンクリート(現地の事情により

W/B は 52.1%に変更した) を工事に適用した。

4.2 塩害劣化した橋台の断面修復への適用

対象とする橋梁では、凍結防止剤の散布により塩害による劣化が進行し、橋台のコンクリート表面から約15cmの深さまで劣化したコンクリートを除去した後、補修材で断面修復を行う必要があった。しかし、市販の補修材はモルタルで大断面修復には不向きであるため、表-3に示す低収縮型高流動コンクリートを適用した。竣工して4年以上が経過しているが、ひび割れは確認されていない。

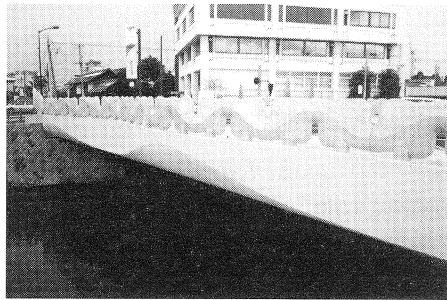


写真-1 RC張出し床版への適用

4.3 塩害劣化したPC桁の断面修復への適用

PC橋においても塩害劣化が進行した場合には、4.2と同様に劣化部の除去と適切な補修材による修復が必要になる。しかし、PC部材の大断面修復において修復部にもプレストレスを有効に働かせる場合、補修材には弾性係数がPC部材と同程度であることや収縮量が小さいこと等が求められる。そこで、PC桁下面の劣化を想定し、逆打ち工法で充てんできる低収縮型高強度高流動コンクリート

表-3 橋台の断面修復用コンクリートの配合

水結合 材比, W/B (%)	水粉 体比, W/P (%)	細骨 材率, s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
			W	P			S		G	SP	RS	Li
				B	LF	S1	S2					
								C				
44.9	35.8	51.6	175	350	40	100	490	337	804	7.4	9.0	2.7

C: 普通ポルトランドセメント(密度3.16g/cm³), E: 膨張材(石灰系, 密度3.15g/cm³), LF: 石灰石微粉末(密度2.71g/cm³), S1: 海砂(表乾密度2.55g/cm³), S2: 砕砂(表乾密度2.64g/cm³), G: 粗骨材1505(絶乾密度2.68g/cm³), SP: 高性能AE減水剤(ポリカルボン酸系), RS: 収縮低減剤(低級アルコールアルキレンオキシド付加化合物界面活性剤), Li: 亜硝酸リチウム

を検討した。使用したコンクリートは、表-2に示した配合A2に類する配合で、桁コンクリートとの一体性が確保できるように発泡剤による初期膨張性等の性能を付与した。なお、この実験は、(独)土木研究所と(社)PC建協によるPC橋の改造技術共同研究委員会の活動の一環で実施したもので、配合、施工方法、断面修復を行ったPC桁の性能等の詳細はすでに報告している^{6), 7)}。

5. おわりに

膨張材と収縮低減剤の単独あるいは併用が通常のコンクリートの自由ひずみに及ぼす影響を確認した。また、膨張材と収縮低減剤を併用すれば、高強度、高流動あるいは軽量を目的とした特殊コンクリートの収縮ひずみの低減にも十分に効果を発揮することが明らかになった。本報では低収縮コンクリートを適用した3事例を紹介したが、今後も新たな展開を検討していく予定である。

参考文献

- 1) 土木学会：垂井高架橋損傷対策特別委員会中間報告書，2005.9.
- 2) 谷口秀明，樋口正典，藤田学：PC橋を対象とした高強度コンクリートの配合，強度および収縮に関する一考察，第15回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.193-198，2006.10.
- 3) 谷口秀明，樋口正典，藤田学：高強度コンクリートの表面仕上げと養生の方法に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.28，pp.1355-1360，2006.7.
- 4) 谷口秀明，豊田邦男，辻野英幸，内田誠二郎：寒冷地における収縮補償用コンクリートの膨張特性，膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム論文集，pp.13-20，2003.9.
- 5) 土木学会：高流動コンクリート施工指針，1998.7.
- 6) 谷口秀明，渡辺博志，手塚正道，藤田学，久田真：PC橋の大規模な断面修復を対象とした高流動コンクリートに関する検討，コンクリート構造物の補修，補強，アップグレード論文報告集，第6巻，2006.10.
- 7) 三加崇，渡辺博志，中村定明，中田順憲：断面修復および外ケーブル補強を実施したPC桁に関する検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，2007.7.