

沖縄県内におけるプレキャストセグメント橋の耐久性向上を目指した1対策

(株)ピーエス三菱 正会員 ○平安山良和
 (株)ピーエス三菱 正会員 隠塚功一郎
 太平洋マテリアル(株) 城野 勝美

1. はじめに

沖縄県では、離島架橋の政策により多くの橋梁が架設されてきた。それらの中でプレキャストセグメント工法は、スケールメリットを生かすことができるため瀬底大橋、池間大橋や阿嘉橋および古宇利大橋などの長大橋に採用されてきた。これらの橋梁は、その年代毎の適用規準に準拠しまた新しい施工方法に対応してきた。古宇利大橋では、道路橋示方書に先駆けて100年の耐久性を目指すべくいろいろな対策が施された。

本稿では、古宇利大橋の建設におけるコンクリートの耐久性向上を目的としたコンクリート配合の検討および性能確認試験結果を報告する。

2. 概要と試験の目的

古宇利大橋は、橋長1960m、有効幅員10.250mのプレキャストセグメント工法PC箱桁橋である。セグメントはショートラインマッチキャスト工法により図-1に示す工程で製作される。セグメント製作時には、脱型時および床版横締めPC鋼材緊張時における次に示す所定の圧縮強度を確保する必要がある。

- ①床版底面の脱型時強度 14N/mm² (15~18時間強度)
- ②床版横締めPC鋼材緊張時強度 36N/mm² (3日強度)
- ③設計基準強度 50N/mm² (28日強度)

また沖縄では早強セメントが流通されていないことから普通セメントが用いられるため、早期強度増進対策が必要である。したがって、コンクリートの若材令における強度増進を目的とし、早強性膨張材を使用してコンクリートの基本配合と基本性能の確認試験を行った。さらに、コンクリートの耐久性の向上の確認を目的とし、乾燥収縮試験、透水性試験、冬場における低温環境下での圧縮強度の確認試験を行った。

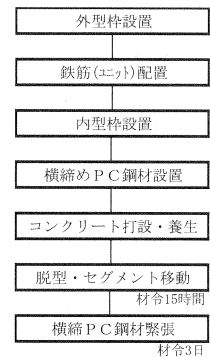


図-1 製作フロー

表-1 使用材料

材 料	種 類	メーカー・産地	密度 (g/cm ³)
セメント (C)	普通ポルトランドセメント	琉球セメント	3.16
粗骨材 (G)	砕石	本部石灰岩	2.70
細骨材	(S1) 陸砂	徳之島産	2.74
	(S2) 砕砂	本部石灰岩	2.66
混和材 (NEx)	早強性膨張材	太平洋マテリアル(株)	3.20
混和剤 (Ad)	高性能AE減水剤*	日本シカ(株)	

*:ポリカルボキシル酸系

3. 基本配合および性能試験

3.1 使用材料と試験配合

表-1に使用材料を、表-2に試験配合を示す。

事前試験として水結合材比を33.5%、31.5%、29.5%と変化させた場合のフレッシュ性状について33.5%

でのみ所定のワーカビリティが得られることを確認した。したがって、本試験でのパラメータは、水結合材比を一定とし、膨張材への置換量、単位セメント量、細骨材率とした。配合ケースは6ケースとした。

表-2 試験配合

配合 No.	W/(C+NEx) (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						Ad C× (%)
			W	C	S1	S2	G	NEx	
①	33.5	42.9	156	466	307	447	1004	0	1.2
②	33.5	42.9	156	436	307	447	1004	30	1.2
③	33.5	44.1	149	416	321	468	1004	30	1.3
④	33.5	42.9	156	431	307	447	1004	35	1.2
⑤	33.5	44.1	149	411	321	468	1004	35	1.3
⑥	33.5	44.1	149	446	321	468	1004	0	1.3

3.2 試験結果

表-3 は、フレッシュ性状の結果である。セメントを早強膨張材に置換した②~⑤の場合でも、①および⑥とスランプおよび空気量に影響は認められなかった。

③⑤⑥は、①②④に比べ水結合材が少ないため、W/(C+NEx)を一定とした場合、単位水量が少なくなり、同程度のスランプを得るために混和剤 (Ad) の添加量を多くする必要がある。

練り上がり温度や塩化物物量においては、各ケースに大きな差違は認められなかった。

表-4 は、圧縮試験の結果である。早強膨張材で置換した②~⑤では材齢 15 時間における脱型強度(14N/mm²)を満足することが確認できた。

W/(C+NEx)を一定とすることによって、単位セメント量を減じた③および⑤の場合においても強度低下は認められなかった。

表-5 は、アルカリ量の集計表である。表中のセメント、混和材および混和剤のアルカリ量は、各々の材料試験報告書による値である。混和材(早強膨張材)は、セメントより単位アルカリ量が少ないことから、セメントを早強膨張材に置換した②~⑤の場合は、置換していない①および⑥より総アルカリ量を減ずることができた。

表-3 フレッシュ性状

配合 No.	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上温度 (°C)	塩化物物量 (g/m ³)	Ad C× (%)
①	13.0	4.0	27.0	38	1.2
②	13.5	3.9	27.0	40	1.2
③	13.5	4.4	26.5	40	1.3
④	12.5	4.7	27.0	38	1.2
⑤	10.0	3.5	26.0	38	1.3
⑥	12.0	6.0	26.0	40	1.3

表-4 圧縮強度試験結果 (N/mm²)

配合 No.	15時間		3日		7日		28日	
	①	11.3 10.9 11.2	11.1	41.0 40.6 41.8	41.1	53.7 55.0 53.7	54.1	63.2 65.2 62.4
②	14.9 15.4 15.5 16.0	15.3	43.0 43.2 44.3 41.8	43.5	54.2 55.0 55.0 56.3	54.7	64.4 65.2 63.2 64.9	64.3
③	16.0 16.2 14.9 14.5	16.1	43.9 41.9 40.4 38.8	42.5	53.7 55.8 51.4 49.7	55.3	64.7 65.7 62.6 63.4	65.1
④	15.9 17.1 17.2 17.6	15.1	40.2 45.6 45.1 44.6	39.8	48.9 56.8 57.3 57.6	50.0	56.5 67.2 67.2 69.5	60.8
⑤	9.9 9.9	17.3	39.6 38.7 39.7	45.1	52.7 54.7 53.5	57.2	61.6 60.1 64.4	68.0
⑥	9.9	9.9	39.3	39.3	53.6	53.6	62.0	62.0

表-5 アルカリ量の集計 (kg/m³)

配合 No.	セメント量	混和材量	混和剤量	塩化物物量	アルカリ量				
					セメント	混和材	混和剤	塩化物	総計
①	466	0	5.59	0.038	2.889	0.000	0.056	0.036	2.981
②	436	30	5.59	0.040	2.703	0.057	0.056	0.036	2.852
③	416	30	5.80	0.040	2.579	0.057	0.058	0.036	2.730
④	431	35	5.59	0.038	2.672	0.067	0.056	0.036	2.831
⑤	411	35	5.80	0.038	2.548	0.067	0.058	0.036	2.709
⑥	446	0	5.80	0.040	2.765	0.000	0.058	0.036	2.859

4. 膨張量・透水性・低温時の圧縮強度室内試験

4.1 基準試験配合

耐久性向上の確認を目的に膨張量試験および透水性試験、また冬場の気温を想定した圧縮強度の確認試験を行った。試験配合を表-6に示す。パラメータは、早強膨張材への置換量 (0, 30, 35)、養生温度 (15°C, 20°C) とした。なお、使用材料は、前述3の基本配合で使用したものと同一である。

表-6 基準試験配合

配合 No.	W/(C+NEx) (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)						Ad C× (%)
			W	C	S1	S2	G	NEx	
⑦	33.5	44.1	149	446	321	468	1004	0	1.3
⑧	33.5	44.1	149	416	321	468	1004	30	1.3
⑨	33.5	44.1	149	411	321	468	1004	35	1.3

4.2 試験方法

試験方法を表-7に示す。

表-7 試験方法

試験項目	試験方法
圧縮強度	JIS A 1108 に準拠 養生温度 15°C, 20°C 試験材齢：15時間～24時間, 3日, 7日, 28日
	JIS A 1101 に準拠 B法に準拠 試験材齢：1日, 7日, 14日, 28日, 56日, 91日
透水試験	インプット法 試験体：無拘束状態 φ15×30：翌日脱型, 以後28日まで水中養生 ：拘束状態 φ15×30：28日まで型枠拘束 (湿布養生) 養生20°C水中および湿布養生・・・28日 乾燥20°C R.H. 60%・・・・・・14日～28日 透水試験・・・・・・・・・2日

練混ぜ方法 2軸強制ミキサを使用。

練混ぜ時間：2分 材料投入(G+C+S)→(から練り)10秒→(W+Ad)110秒→搬出

4.3 圧縮試験結果

圧縮試験結果を表-8に示す。早強膨張材で置換した⑧, ⑨では、養生温度20°Cにおいて材齢15時間で脱型時の圧縮強度を満足したが、養生温度15°Cにおいては材齢20時間を要する。また早強膨張材を使用していない⑦の場合でも養生温度15°Cにおいて材齢3日で緊張時の圧縮強度を満足した。

早強膨張材の効果として、長期強度は置換していない場合と同等であるが、脱型時においては4～5割の強度増進が認められる。これにより養生温度20°Cにおいて脱型時間を5時間程度短縮できる。

表-8 圧縮試験結果

配合 No.	養生温度	15時間		17時間		20時間		3日		7日		28日	
		実測値	平均	実測値	平均	実測値	平均	実測値	平均	実測値	平均	実測値	平均
⑦	20	9.6	10.2	13.4	13.5	15.8	15.6	44.8	42.3	56.3	53.9	65.6	66.6
		10.4		13.4		15.9		38.0		55.7		67.9	
		10.6		13.8		15.2		44.2		49.8		66.4	
	15	4.6	4.6	7.8	7.5	10.8	10.5	40.1	39.4	54.4	55.1	69.6	67.7
		4.5		7.9		9.9		37.9		58.2		66.2	
		4.7		6.8		10.8		40.2		52.7		67.2	
⑧	20	14.3	14.4	18.7	19.2	22.4	22.1	43.7	46.0	56.6	54.0	65.2	68.0
		14.5		19.4		22.4		45.2		57.0		71.0	
		14.4		19.4		21.4		49.1		48.4		67.7	
	15	8.0	8.1	10.9	11.2	15.9	16.4	37.9	40.4	47.9	52.2	66.4	62.9
		8.5		10.9		16.9		40.2		51.6		57.7	
		7.8		11.8		16.5		43.0		57.0		64.6	
⑨	20	15.0	15.1	20.6	19.9	23.6	23.0	42.0	43.1	49.8	49.7	61.6	61.1
		15.0		19.4		23.0		43.9		49.4		61.7	
		15.4		19.7		22.4		43.5		49.9		60.1	
	15	9.6	9.0	12.4	12.4	16.8	17.7	43.6	43.4	56.1	56.7	68.7	66.7
		8.7		12.9		18.5		42.8		57.8		67.8	
		8.9		11.8		17.7		43.7		56.1		63.5	

4.4 長さ変化試験結果

表-9は、長さ変化試験結果を示す。

試験体②の場合、材齢7日において、236 μ の膨張ひずみにより、「コンクリート標準示方書 施工編」¹⁾に示されている収縮補償用コンクリートの性能を有していることが認められた。

表-9 長さ変化試験

配合 No.	膨張材量 (kg/m ³)	膨張率(×10 ⁻⁶)					
		1日	7日	14日	28日	56日	91日
⑦	0	-35	-3	-139	-211	-285	-314
⑧	30	81	236	96	40	-55	-69
⑨	35	116	324	168	104	39	-1

4.5 透水性試験結果

表-10は、透水性試験結果を示す。

ここで、拡散係数は次の(式-1)より算出した。

$$\beta i^2 = \alpha \times Dm^2 / (4t \xi^2) \quad \text{(式-1)}$$

βi^2 : 拡散係数(×10⁻³cm²/sec)

Dm^2 : 水の浸透深さ(cm)

α : 水圧を加えた時間に関する係数 ($\alpha = t^{3/7}$)

t : 水を加えた時間(sec)

ξ^2 : 水圧の大きさに関する係数

⑧⑨では、⑦に比べ拡散係数が小さいことから、早強膨張材で置換することによってコンクリートの水密性が向上することが確認できた。また型枠養生に比べ水中養生した場合、拡散係数が小さいことが確認できた。

表-10 透水性試験結果

養生方法	配合 No.	α	t (sec)	ξ	浸透深さDm(cm)			拡散係数 (×10 ⁻³ cm ² /sec)
					左	右	平均	
水中養生	⑦	236.42	345600	0.905	28.9	34.4	40.55	0.34 (1.00)
					40.3	46.4		
					49.3	45.9		
					42.9	41.9		
					35.8	39.7		
	⑧	236.42	345600	0.905	26.8	34.5	38.16	0.30 (0.89)
					40.8	39.3		
					46.1	44.9		
					37.9	41.8		
					31.1	38.4		
	⑨	236.42	345600	0.905	21.4	33.8	31.96	0.21 (0.62)
					36.9	29.6		
39.6					36.2			
34.8					34.3			
22.6					30.4			
型枠養生	⑦	236.42	345600	0.905	44.5	49.6	50.49	0.53 (1.00)
					49.1	52.1		
					56.2	52.9		
					51.1	52.1		
					46.4	50.9		
	⑧	236.42	345600	0.905	37.3	38.4	43.55	0.40 (0.74)
					44.9	40.1		
					46.7	48.8		
					45.5	48.8		
					38.1	46.9		
	⑨	236.42	345600	0.905	41.1	40.3	43.51	0.40 (0.74)
					50.9	42.7		
48.4					46.6			
43.6					49.2			
36.7					35.6			

5 まとめ

この試験により得られた知見は以下の通りである。

- ・早強膨張材で置換したコンクリートのフレッシュ性状に大きな変化は認められない。
- ・早強膨張材はセメントよりアルカリ量が少ないため、置換した場合、総アルカリ量が減少する。
- ・早強膨張材で置換したコンクリートの長期強度は、置換していないコンクリートとほぼ同じであるが、脱型時などにおいては、4~5割の強度増進が認められる。
- ・早強膨張材の置換量 30kg/m³で 230 μ の膨張ひずみが得られ収縮補償用コンクリートの性能を有する。
- ・早強膨張材で置換したコンクリートは、水密性が向上することが認められた。
- ・以上の試験結果から本橋では、良好な値を示した早強膨張材の置換量 30 kg/m³および 35kg/m³のうち、安価な No.②の配合を採用した。

6 おわりに

沖縄県内では普通セメントが使用されることから、脱型時の早期強度が必要なため早強膨張材の検討を行ったが、膨張効果が得られることや水密性が向上することなど、耐久性が向上する効果があることがわかった。これが、今後のコンクリートの耐久性向上に少しでも参考になれば幸いである。

【参考文献】

- 1) 土木学会：2002年制定 コンクリート標準示方書 施工編