

(50) ゴムラテックスコンクリートを用いた 連続合成桁に関する基礎実験研究

大垣 賀津雄¹・海老原 竜司¹・杉浦 江¹・佐竹 紳也²・星 埜 正明³

¹正会員 川崎重工業株式会社 大型構造物BC (〒675-0155 兵庫県加古郡播磨町新島 8 番地)
E-mail:ohgaki_kazuo@khi.co.jp

²正会員 太平洋マテリアル株式会社 開発研究所 混和材料G (〒285-0802 千葉県佐倉市大作2-4-2)
E-mail:syinya-satake@taiheiyo-m.co.jp

³正会員 日本大学 理工学部 社会交通工学科 (〒274-8501 千葉県船橋市習志野台7-24-1)
E-mail:hoshino@trpt.cst.nihon-u.ac.jp

連続合成桁の中間支点付近では負曲げモーメントによる引張力が大きくなると、床版コンクリートに発生するひび割れを回避するのは通常困難である。筆者らは、連続合成桁における中間支点部床版のひび割れ制御方法を分析し、橋軸方向のプレストレスを導入せずにひび割れを回避もしくは減少させる工法を検討した。特に、長支間橋梁に対する合理的な新工法として、スチレンブタジエンゴム (SBR) を主原料とするポリマーセメント (ゴムラテックス) を混入したコンクリートを用いることを提案する。また、本工法のひび割れ分散性能を確認するために実施した、ゴムラテックス混入鉄筋コンクリートの両引き実験結果を報告するものである。

Key Words : continuous composite girder, concrete slabs, polymer cement, SBR-latex, crack control

1. はじめに

連続合成桁では、中間支点部が負の曲げモーメントを受けるため、床版に引張力が作用する (図-1)。この引張応力がコンクリートの引張強度を超えるとひび割れが発生し、ひび割れ幅が大きくなる場合には、車両走行の影響により床版耐久性の低下を招くことが考えられる。

連続合成桁は、中間支点付近の床版に作用する引張力への対処方法が種々検討されている。ここでは、床版に橋軸方向プレストレスを導入せずにひび割れを回避もしくは減少させる連続合成桁の施工方法の一つとして、スチレンブタジエンゴム (SBR) を主原料とするポリマーセメント (以下、ゴムラテックスと呼ぶ) を混入したコンクリート¹⁾⁵⁾を、中間支点付近の床版に施工する工法を提案するものである。

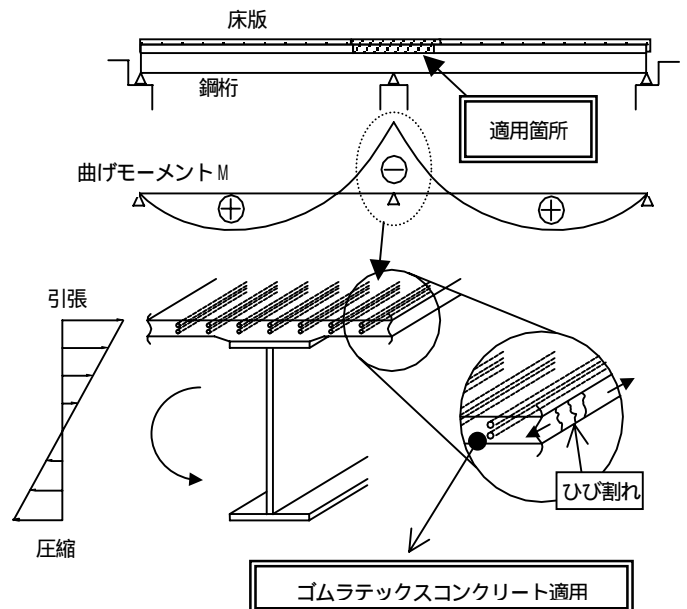


図-1 連続桁中間支点上のひび割れ

2. ひび割れ制御方法

プレストレスしない連続合成桁は、中間支点部床版コンクリートにひび割れ発生を許容し、ひび割れ幅の推定計算を行いその幅が許容値以下であることを照査してい

る。欧州諸国規定やコンクリート標準示方書等ではこのような考え方が示されている⁶⁾。一方、プレストレスする連続合成桁には、死荷重状態ではひび割れない等の規定を設けるパーシャルプレストレスの考え方が示されて

おり、完全合成桁を目指した設計が経済性、施工性の面で合理的でないことを示している⁷⁾。

J. Lebetらは、現場計測、実験および数値解析等により、コンクリートの水和熱と引張応力の関係を研究し、支間長の比較的長い橋梁においては、コンクリートが硬化する課程で発生する水和熱の影響を無視できないことを示している⁸⁾。これらの情報を含めた各種ひび割れ制御対策の有効性を列記すると、表-1のように整理できる。

施工順序の検討は床版打設においては常識的に行っている。膨張コンクリートの使用についても連続合成桁では一般的に使用されている。さらに、ジャッキアップダウン工法や合成後のケーブルプレストレスは国内の施工実績があり、支間長が比較的短い場合に有効な手段となることもあるが、施工性、経済性に課題が残る。繊維補強コンクリートには、鋼繊維やガラス繊維などを使用する方法があるが、補強材料の種類が多くて多様な性能が示されており、個別に施工性と経済性を検討する必要がある。特に、施工初期段階の乾燥収縮ひび割れが生じる場合があるので、配合等に配慮する必要がある。

一方、パイプクーリング、プレクーリングを床版工事に採用している国内事例はほとんどないが、採用に際しては施工性や経済性を含めた検討を行うと共に、その効果を明確にすべきである。合成前ケーブルプレストレスとは、鋼桁と硬化した床版を分離施工しておきプレストレス導入後に合成させるという方法である。適用に際しては、床版と鋼桁の接合部構造や、施工上の技術的課題があるので、経済性を含めた詳細検討が必要である。

表-1 各種ひび割れ制御方法の有効性

ひび割れ制御方法	有効性		施工性	経済性
	30-60m	60-90m		
施工順序最適化(支間部から)			要検討	
膨張コンクリート				
ジャッキアップダウン				
繊維補強コンクリート				
パイプクーリング, プレクーリング	不要	有効	要検討	
合成後ケーブルプレストレス				×
合成前ケーブルプレストレス	不要		困難	×
ゴムラテックスコンクリート				

3. 供試体と実験方法

(1) ゴムラテックスコンクリートの特徴

ここで提案するゴムラテックスコンクリートは、表-2に示すスチレンブタジエンゴム(SBR)をベースにしたゴムラテックス乳剤を混入したポリマーセメントコンクリートの1種である。ポリマーセメント比 P/C (セメント重量に対するゴムラテックス中のポリマー重量の比) を

5% ~ 17%程度に設定し、普通コンクリートの配合に添加する。

ゴムラテックスを混入することにより、引張強度が増加し、鉄筋の変形に対する追従性が高くひび割れに強い床版となることが期待される。また、水密性が高まることから、床版の長寿命化や合成桁の LCC 低減にも繋がるものと期待される。

表-2 ゴムラテックスの性状

外 観	乳 白 色
全固形分(%)	45.0±1.0%
P H	9 ± 1
粘度 (20)	200mPa·s以下
見かけ比重	1.00±0.05

(2) 供試体コンクリートの配合

供試体コンクリートの基本配合を表-3 に示す。普通コンクリートの供試体 1 に対して水セメント比を変えないように、ポリマーセメント比 (P/C=全固形分重量/セメント重量) を 0%, 5%, 10%, 17%に変化させることとした。

表-3 供試体コンクリートの配合

供試体	P/C (%)	配合単位体積重量(kg/m ³)					
		水	セメント	ゴムラテックス	細骨材	粗骨材	
						2010	1005
NO.1	0	160	320	0	830	592	394
NO.2	5	140(20)	320	36	830	592	394
NO.3	10	121(39)	320	71	830	592	394
NO.4	17	81(59)	280	107	944	577	385

ゴムラテックス乳液のポリマー固形分比率：45%
 ポリマーセメント比：P/C=全固形分重量/セメント重量
 水重量の()内数値は、ゴムラテックスに含有する水分量を示す。
 ラテックス乳液中の水分を考慮した水セメント比：W/C=50%

(3) 供試体形状

供試体を各種類 2体ずつ 8体製作した。図-2 に示すように正方形断面角柱の中心に、D16 異形鉄筋を両端より張出し埋設したコンクリート供試体を製作した。また、載荷端の影響を小さくする目的から、コンクリート端部はグリスを塗布し 100mmの鉄筋との非定着区間を設けた。

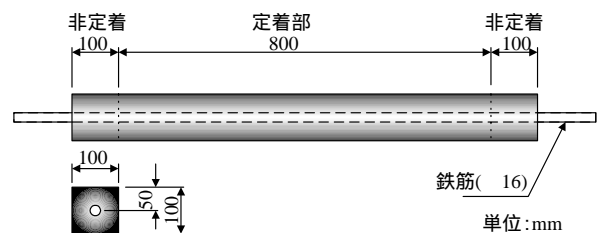


図-2 実験供試体

供試体コンクリートのその材齢は 28 日とし、実験室にて現空養生を行った。

(4) 材料強度

供試体 NO.1 ~ NO.4 のコンクリート材料試験結果を表-4 に示す。表-3 の配合に示したとおり、各供試体コンクリートの水セメント比 W/C は 50%としているので、圧縮強度は同様の値となる。ただし、NO.4 供試体は、ポリマーセメント比 P/C=17%であり、極端にゴム成分が多いので、圧縮強度が低下したものと考えられる。

一方、引張強度は割裂試験により得られた値であり、元々データのばらつきが大きいものと考えられる。今回計測した引張強度は 2.3 ~ 3.4N/mm²の間にばらついており、各供試体で明瞭な差異は見られなかったといえる。

また、各配合における応力 - ひずみ関係を図-3 に示す。同図より、P/C が増加するほど、すなわち、ゴムラテックスの混入比率が大きくなるほど、ヤング係数が低下していることがわかる。しかしながら、P/C=0%, 5%, 10%の3種類については、終局の圧縮強度にほとんど差異がないといえる。

表-4 圧縮強度および割裂引張強度

供試体	試験項目	最大荷重 (N)	圧縮強度 (N/mm ²)	引張強度 (N/mm ²)
NO.1	A 圧縮試験	257.0 × 10 ³	33	-
	B 割裂試験	72.4 × 10 ³	-	2.3
	C 割裂試験	90.2 × 10 ³	-	2.9
NO.2	A 圧縮試験	266.5 × 10 ³	34	-
	B 割裂試験	97.2 × 10 ³	-	3.2
	C 割裂試験	70.4 × 10 ³	-	2.3
NO.3	A 圧縮試験	245.0 × 10 ³	31	-
	B 割裂試験	105.0 × 10 ³	-	3.4
	C 割裂試験	75.4 × 10 ³	-	2.5
NO.4	A 圧縮試験	200.5 × 10 ³	26	-
	B 割裂試験	73.6 × 10 ³	-	2.4
	C 割裂試験	82.8 × 10 ³	-	2.7

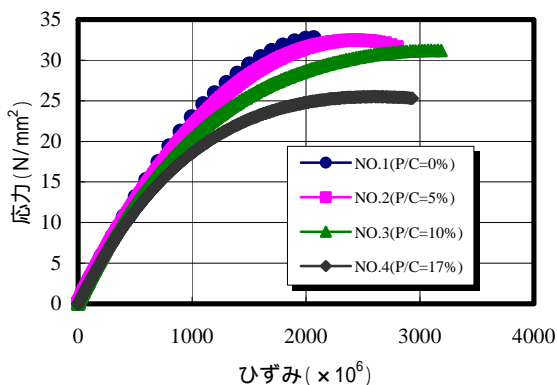


図-3 供試体コンクリートの応力 - ひずみ曲線

(5) 載荷方法

載荷方法は、アムスラー試験機により、供試体より突出した埋込鉄筋の両端部を掴み、引張荷重を与えた(図-4)。載荷時の荷重増分は 1kN とする。70kN まで載荷を行ったあと、除荷段階を 20kN 毎に計測した。

ひび割れの計測は、初期ひび割れ荷重、40kN、70kN ごとに行い、供試体面上にひび割れスケッチを行う。その際、荷重は保持しておいた。



図-4 実験装置

(6) 測定項目

供試体を試験機に仮設置し、その後、供試体に 型変位計および変位計を図-5 のように設置した。このとき 型変位計は、100mm の標点間距離で、すべてのひび割れを含むように合計 7 個設置した。着目項目は以下の通りである。

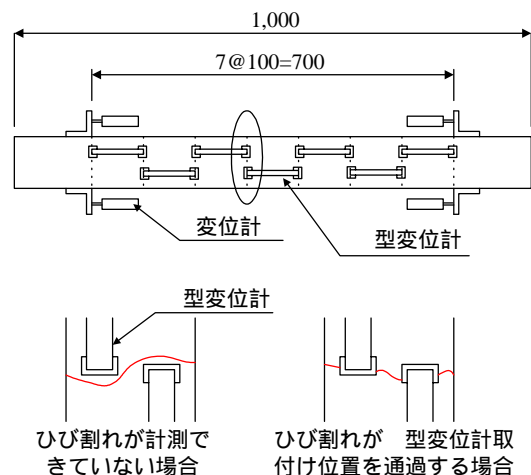


図-5 変位計、型変位計

a)初期ひび割れ荷重

各荷重ステップごとにひび割れ発生の有無を観察し、4種類の供試体(計8本)それぞれの初期ひび割れ荷重を計測した。

b)ひび割れ幅

型変位計による計測データだけでなく、初期ひび割れ発生時、40kN、70kN 載荷時にそれぞれ進展したひび割れ幅をクラックスケールを用いて測定した。

c)ひび割れ間隔

試験終了後、供試体上にペンを用いて記入したひび割れ状況を元に鋼尺を使用して間隔、本数を測定した。

4. 実験結果

(1) ひび割れ幅

型変位計によるひび割れ幅計測結果を図-6 に示す。同図中、P-1~P-7 は 型変位計の記号であり、上から順に定義されたものである。同図より、供試体 NO.3 (P/C=10%)が最もひび割れ幅が小さく、ひび割れ本数も多くなっていることがわかる。

また、これらの 型変位計を使用した測定結果と、クラックスケールを使用した測定結果を表-5 にまとめて示す。

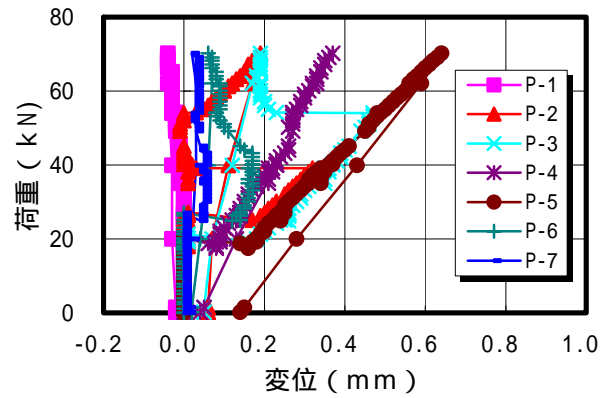
表-5 ひび割れ幅計測結果

供試体	ひび割れ発生荷重kN	ひび割れ幅 mm						
		ひび割れ発生		40kN 載荷時		70kN 載荷時		
NO.1	a	20.6	0.01	0.10	0.28	0.20	0.51	0.75
	b	20.6	0.14	0.10	0.37	0.25	0.64	0.75
NO.2	a	19.8	0.21	0.10	0.56	0.35	0.73	0.65
	b	21.8	0.16	0.10	0.50	0.35	0.59	0.75
NO.3	a	21.9	0.18	0.10	0.46	0.25	0.71	0.50
	b	19.8	0.10	0.10	0.22	0.30	0.37	0.50
NO.4	a	26.0	0.01	0.10	0.29	0.25	0.51	0.35
	b	26.1	0.18	0.10	0.42	0.25	0.81	0.35

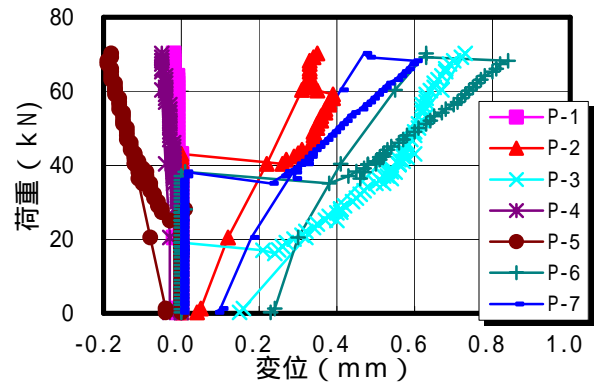
: 型変位計計測値

: クラックスケールによる最大ひび割れ幅

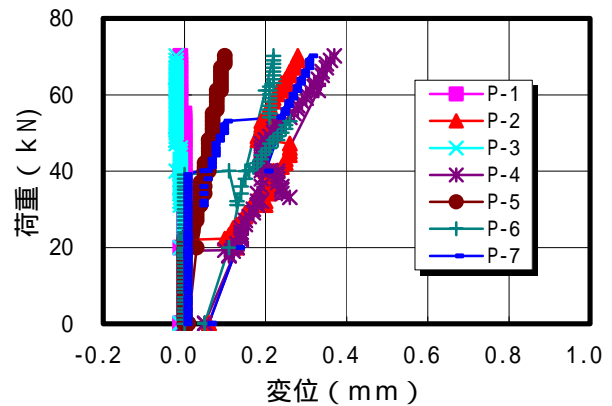
同表より、型変位計の値とクラックスケールの値を比較してみると、型変位計の値がクラックスケールの値より大きい場合と小さい場合があることがわかる。大きい場合の理由として、1個の型変位計の間に2本以上のひび割れが発生したことにより、両方の幅を型変位計が値として拾ってしまったことが考えられる。また、100mm 間隔に設置されているのでその間の弾性変位も



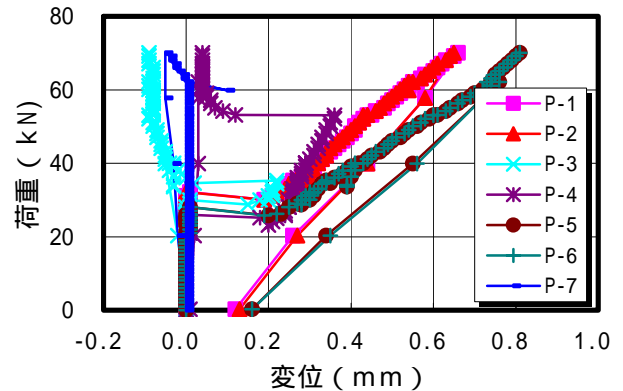
a) 供試体 NO.1 P/C=0%



b) 供試体 NO.2 P/C=5%



c) 供試体 NO.3 P/C=10%



d) 供試体 NO.4 P/C=17%

図-6 型変位計によるひび割れ幅

加味された値となっている。一方、小さい場合の理由として、今回の実験においては型変位計を1面にしか設置しなかったため、断面平均のひび割れ幅を計測しているわけではない。他の3面で発生したひび割れの影響が関与していることが考えられる。すなわち、断面の平均的なひび割れは荷重増加とともに拡大していくが、計測していない反対面のひび割れや隣接断面に新たにひび割れが発生した場合に、ひび割れ幅が縮まることがある。このことは、図-6に示す通り、一度大きく生じた変位が途中で急激に減少する場合があることから理解すべきことである。

最大ひび割れ幅に関しては、表-5のクラックスケールを参照すると、70kN時点においてゴムラテックス混入割合が大きくなるほど最大ひび割れ幅が小さくなるという結果が得られており、ゴムラテックス混入によって、靱性（付着性能）が向上しているものと考えられる。

(2) ひび割れ発生荷重

初期ひび割れ発生荷重が No.1, No.2, No.3 供試体では20kN 前後だったのに対し、No.4 供試体では26kN となった。これは、ゴムラテックスの混入割合が多くなったことにより、初期ひび割れ発生荷重が大きくなったためと考えられる。

(3) 除荷後のひび割れ幅

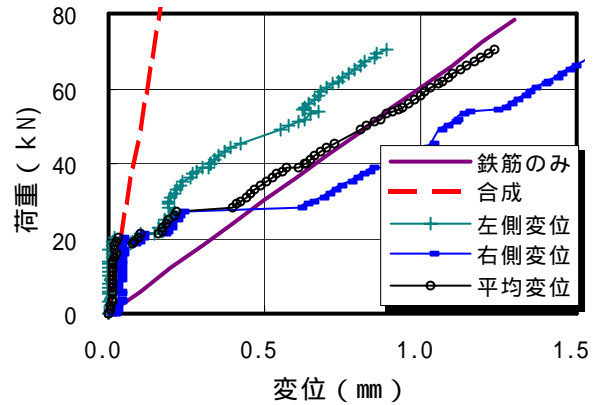
なお、実験終了の除荷後、再度クラックスケールを用いてひび割れ幅の測定を行ったところ、普通コンクリート No.1 の最大ひび割れ幅が0.15mmであったのに対して、ゴムラテックスコンクリート(P/C=17%)No.4 の最大ひび割れ幅は0.05mm以下であった。このことから、コンクリートに生じたひび割れは、ゴムラテックスの混入割合が増加することにより、一度生じたひび割れが閉じる傾向があるといえる。このことは、ゴムラテックスコンクリートの鉄筋との付着力が大きく、復元性能が保たれていることによるものと考えられる。

(4) ひび割れ間隔

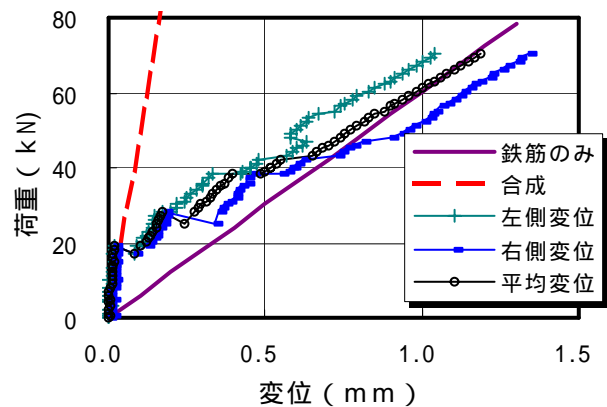
ひび割れ状況に関して、普通コンクリート No.1 のひび割れ間隔が160mmであったのに対して、ゴムラテックスコンクリート(P/C=17%)No.4 のひび割れ間隔は105mmであり、ひび割れ本数は約1.5倍になるといえる。このことから、普通コンクリートに比べて、ゴムラテックスコンクリートのひび割れ分散性が高いことが伺える。

(5) 相対変位

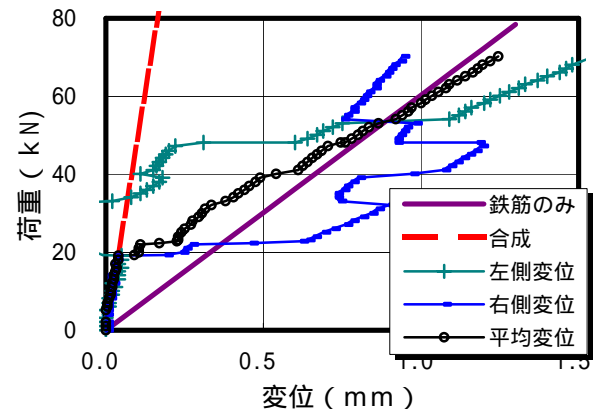
図-5に示したように供試体の両側面に配置した変位計による評点間の相対変位計測結果と荷重の関係を図-7



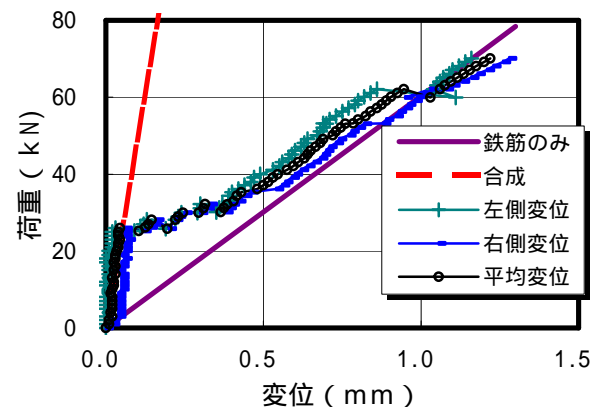
a) 供試体 NO.1 P/C=0%



b) 供試体 NO.2 P/C=5%



c) 供試体 NO.3 P/C=10%



d) 供試体 NO.4 P/C=17%

図-7 評点間の相対変位

に示す。図中の赤破線は鉄筋とコンクリートが一体化された断面であり、紫は鉄筋のみの荷重 - 変位関係計算値を示す。同図より、普通コンクリートの場合、20kN 付近まで一体挙動を示しているが、その後 30kN 付近で鉄筋のみの挙動を示していることがわかる。これは、20kN 付近で初期ひび割れが発生したことによるものと考えられる。また、ゴムラテックスコンクリート(P/C=17%)の場合、30kN 付近まで合成挙動を示しているが、その後 40kN 付近で鉄筋のみの挙動を示していることがわかる。このことから、ゴムラテックスコンクリートのテンションスティフニングは、普通コンクリートより最大 3 割程度向上することが確認できた。

この理由は、表-5 にも示したとおり、普通コンクリートと比べると初期ひび割れ発生荷重が 3 割程度増加していることが原因といえる。また、ゴムラテックスの接着性能が働き、ゴムラテックスコンクリートと鉄筋の付着が良くなったことにより、鉄筋のみの挙動に徐々に漸近することが原因であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、ゴムラテックス混入鉄筋コンクリートの両引き試験を行った。本研究で得られた成果をまとめると以下のとおりである。

- ・ ゴムラテックス混入割合が大きくなるほど最大ひび割れ幅が小さくなる傾向があり、ゴムラテックス混入によるひび割れ制御効果が確認できた。
- ・ ゴムラテックスの混入割合が多くなるほど、最大 3 割程度、初期ひび割れ発生荷重が大きくなる。
- ・ ゴムラテックスコンクリートは鉄筋との付着力が大きく、復元性能が保たれており、一度生じたひび割れが閉じる傾向にある。
- ・ ゴムラテックスコンクリートはひび割れ分散性が高く、ひび割れ本数は最大で普通コンクリートの約 1.5 倍になる。

- ・ ゴムラテックスコンクリートのテンションスティフニングは、普通コンクリートより最大 3 割程度向上することが確認できた

ゴムラテックスコンクリートを鋼桁の床版に用いた場合に関する今後の課題は、以下に示すとおりである。

- 合成桁の負曲げ試験によるひび割れ分散性能
- 上フランジとの付着性能の確認
- 乾燥収縮度の経時変化確認

謝辞：本研究を遂行するに当たり、日本大学理工学部助手の斉藤準平先生、および院生(当時)の千葉慎也氏ほかに感謝する次第である。

参考文献

- 1)大垣, 済藤, 矢野, 宮本: 鋼・コンクリート合成構造界面の付着および防食性能向上に関する研究, 第 5 回複合構造の活用に関するシンポジウム講演論文集, pp.211 - 216, 2003 年 11 月
- 2)河野: ポリマーセメントモルタルおよびコンクリートの特性, コンクリート・ジャーナル, Vol.11, No.4, 1973.4
- 3)橋本, 大浜: ポリマーセメントコンクリートの強度特性, コンクリート工学論文, Vol.15, No.11, 1977.
- 4)水上, 八部, 大垣, 阿部, 竹原: ゴムラテックスコンクリートを用いた連続合成桁の中間支点部床版施工法, 土木学会第 59 回年次学術講演会, 2004.9
- 5)作川, 大垣, 杉浦, 岡島, 星埜: ゴムラテックス混入鉄筋コンクリートのひび割れ性状, 土木学会第 60 回年次学術講演会, 2005.9
- 6)長井, 奥井, 岩崎: 連続合成桁の各種ひび割れ幅算定法とその相違に関する一考察, 土木学会論文集 I710 巻 1-60 号, 2002.7
- 7)大垣賀, 八部, 中園, 中村, 長井: PC 床版連続合成 2 主桁橋の合理的設計・施工法, 土木学会論文集 VI 679 巻 51 号, 2001.6
- 8)Dr Jean-Paul Lebet, Dr Jean-Marc Ducret : Experimental and theoretical study of the behaviour of composite bridges during construction, ICOM-Steel Structure, Swiss Federal Institute of Technology, PAPER NUMBER:56, 1999

A BASIC EXPERIMENTAL STUDY ON CONTINUOUS COMPOSITE GIRDERS WITH RUBBER-LATEX CONCRETE SLABS

Kazuo OHGAKI, Ryuji EBIHARA, Hiroshi SUGIURA and Masaaki HOSHINO

In this paper concrete slabs mixed with the rubber latex(SBR) are proposed as a rational type of slab construction. A basic experiment of the rubber latex concrete has been carried out to investigate the effect of mixing the rubber latex on crack control. Furthermore a crack control method of concrete slabs of this type, especially in the area of intermediate supports in the continuous composite girder bridges, is investigated and crack dispersibility in the slabs is discussed.