

上和会高架橋の床版及び横方向の設計について —工場製プレキャストセグメント PC 橋—

日本道路公団 中部支社 豊田工事事務所	佐藤 健俊
八千代エンジニアリング (株) 技術本部	正会員 上杉 泰右
ドーピー・日本高圧共同企業体	正会員 ○照沼 英彦
ドーピー・日本高圧共同企業体	正会員 今村 晃久

1. はじめに

「上和会高架橋」は、第二東名高速道路のうち豊田工事事務所管内の豊田 JCT から豊明 IC 間に建設される、橋長 631m のプレキャストセグメント工法による 17 径間 PC 連続箱桁橋である。

現在実施されているプレキャストセグメント工法の多くは架設場所付近に大きなセグメント製作ヤードを確保し、製作・架設を行っている。しかし本橋は、架設場所付近に大きなセグメント製作ヤードが確保できないため、PC プレキャスト工場で作成し運搬架設する必要がある。このためセグメント重量も通常 40tf~80tf であるのに対し、本橋では 30tf 程度に抑える必要があり、セグメント断面を小さくし 2 主箱桁構造としている。またセグメント架設後にプレキャストセグメント箱桁間の床版を橋軸直角方向に接合するが、その接合部床版については橋軸方向と橋軸直角方向の 2 方向をマッチキャストすることが不可能であることから、鉄筋継手をダブルループ継手とした場所打ち RC 構造としている。

接合部床版は直接輪荷重が走行する過酷な荷重状態となるため、接合部床版の十分な安全性と耐久性を確保するために静的試験と疲労試験を行った。本論文はこの試験の設計へのフィードバックに関する部分と多径間 3 次元 FEM 解析を行った設計の結果を報告するものである。

2. 橋梁概要

- 道路規格 : 第 1 種第 2 級
- 橋 種 : プレストレストコンクリート道路橋
- 構造形式 : 17 径間 PC 連続箱桁橋 (プレキャストセグメント工法)
- 橋 長 : 631.00m
- 支間長 : 10×35.80m + 7×39.00m
- 有効幅員 : 上り線 14.64m 下り線 14.52m
- 活 荷 重 : B 活荷重
- セグメント数 : 上り線 512 個 下り線 512 個

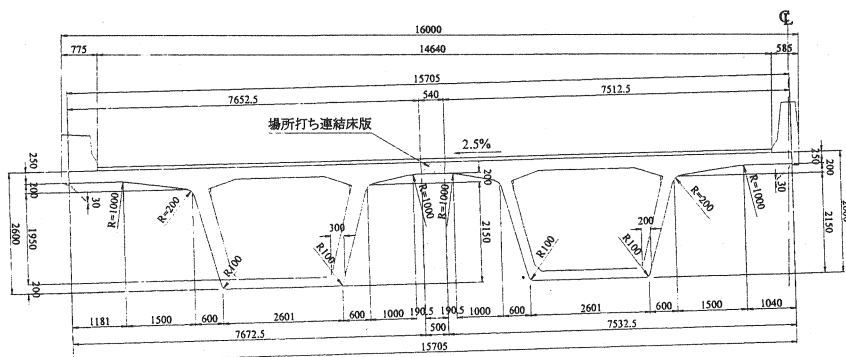


図-1 上り線断面図

3. 横方向の設計

本橋は主桁間を支点上の横桁と床版で結合した2主桁桁橋であり、各支点間には横桁を設けない構造となっている。このため通常横方向の設計で行われている平面 FRAME による解析ではその挙動を再現することができないため、3次元 FEM 解析を行った。

3.1 解析モデル・載荷荷重

3径間分をソリッド要素によりモデル化し、各支点位置で沓のばね値を使用し拘束した。

載荷荷重は、自重、橋面荷重、活荷重、温度差、床版横締めプレストレス、外ケーブル、風荷重とし、構造系の変化による不静定力も考慮した。

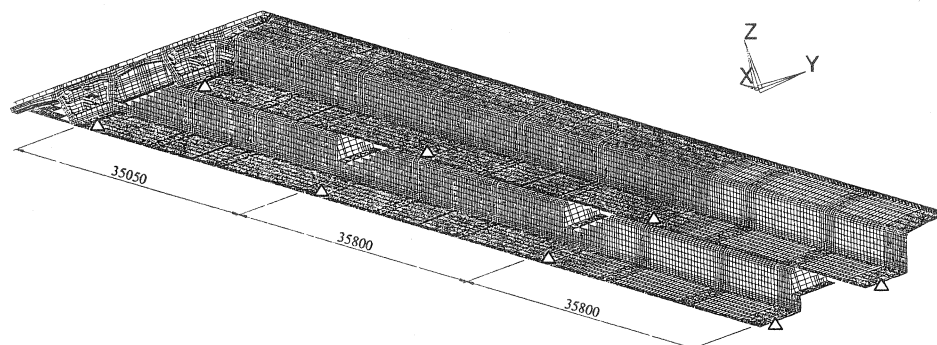


図-2 解析モデル

3.2 制限値

上床版は 1S15.2 のプレテンケーブルを @250 で配置した PRC 部材であるため、使用限界状態における制限値はひび割れ発生限界としている。

表-1 に上床版の制限値を示すが、接合部床版の制限値は静的載荷試験の結果を踏まえ、15%低減した値を採用している。

表-1 上床版の制限値

	(N/mm ²)		
	床版部 h=250	床版付根部 h=450	接合部床版 h=250
永久荷重時	-3.4	-2.8	-2.9
永久荷重+変動荷重	-3.4	-2.8	-2.9

3.3 解析結果

図-3 は永久荷重時および変動荷重作用時の上床版の合成応力度であるが、いずれの断面においても制限値を満足する結果となっている。

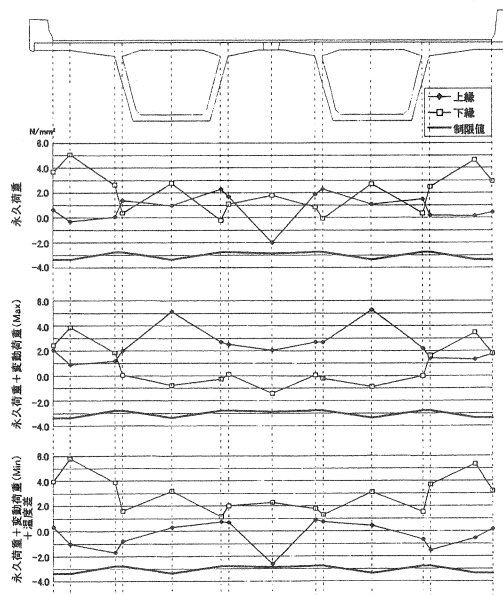


図-3 上床版の合成応力度

4. 静的荷重試験・疲労試験

本橋の接合部床版にはダブルループ鉄筋による RC 床版を採用することから、コンクリートの曲げ引張挙動・終局曲げ耐力・疲労耐力を把握することによって安全性および適用性を確認すべく曲げ荷重試験、疲労試験を行った。

4.1 静的荷重試験

4.1.1 試験体の形状及び荷重方法

本試験に用いる試験体の形状は、実橋での接合床版の曲げ挙動を的確に把握するため実寸の形状とした。

曲げスパン長は、実橋に対する3次元 FEM 解析から得られた接合部床版の挙動と等価となる2.5mとした。床版厚は実橋と同じ25cmとし、床版幅は版としての挙動をしないよう50cmとした。

荷重の載荷は図-4に示すように輪荷重の載荷幅(50cm)を考慮した一点集中載荷とし、破壊に至るまで荷重を漸増載荷した。

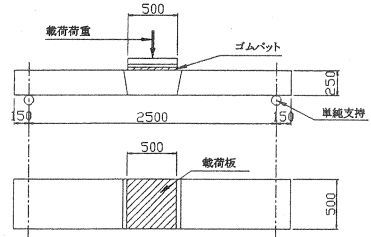


図-4 荷重の載荷方法

4.1.2 試験体の種類

ダブルループ継手によるコンクリート床版の曲げ挙動を把握するため、表-2に示す試験体を用いて曲げ試験を行った。ダブルループ継手は現場の施工を考慮し、プレキャストセグメント側のループ鉄筋と重ね合わせずに中間に配置する形状とした。

表-2 試験体の種類

種類	試験体数	接合部床版打継目の有無	鉄筋継手及び鉄筋の種類	鉄筋径及び配置
No.1-1-N	3	無(一体構造)	重ね継手(普通鉄筋)	D19 ctc125
No.1-1-E	3	無(一体構造)	重ね継手(エポキシ樹脂塗装鉄筋)	D19 ctc125
No.1-2-N	3	無(一体構造)	ダブルループ継手(普通鉄筋)	D19 ctc125
No.1-2-E	3	無(一体構造)	ダブルループ継手(エポキシ樹脂塗装鉄筋)	D19 ctc125
No.2-1-N	3	有	ダブルループ継手(普通鉄筋)	D19 ctc125
No.2-1-E	3	有	ダブルループ継手(エポキシ樹脂塗装鉄筋)	D19 ctc125

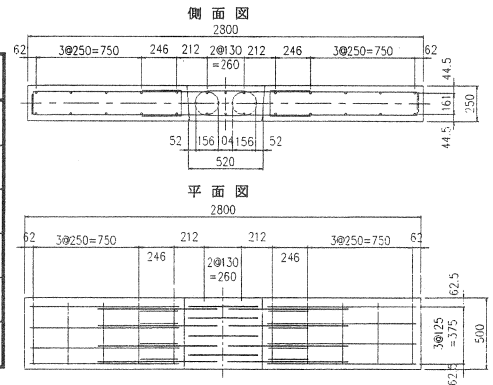


図-5 ダブルループ配筋概要図

4.1.3 試験結果

1) ひび割れ発生限界応力度

本試験から得られたP-δ曲線を図-6に示す。

ひび割れ発生限界応力度はP-δ曲線から類推することとするが、各試験体のコンクリート強度のばらつきを補正するため、コンクリート標準示方書に規定する曲げ引張強度を計算し、それに対する比較を行った。その結果を表-3に示す。

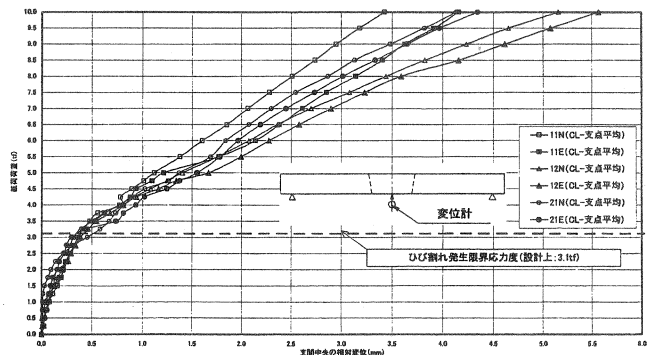


図-6 P-δ曲線

表-3 計算結果と試験結果によるひび割れ発生荷重の比較

試験体の種類	打継目の有無	継手の種類	P-δ曲線によるひび割れ発生荷重① (tf)	ひび割れ発生荷重の計算値② (tf)	①/②	コンクリートの圧縮強度 (N/mm ²)
No.1-1-N		D19 重ね	3.2	3.16	1.01	61.6
No.1-1-E	打継目	D19 重ね・エポ	3.1	3.16	0.98	61.8
No.1-2-N	無し	D19 DR	3.1	3.18	0.97	62.3
No.1-2-E		D19 DR エポ	3.0	3.31	0.91	66.2
No.2-1-N	打継目	D19 DR	2.8	3.23	0.87	63.6
No.2-1-E	有り	D19 DR エポ	2.7	3.24	0.83	63.8

※ DR：ダブルループ
エポ：エポキシ樹脂塗装鉄筋

※ 表中のひび割れ発生荷重は、試験体支間中央下縁にひび割れ発生限界状態の曲げ引張応力度を発生させる荷重の計算値を示す。

打継目を設けた場合には、打継目の一体構造に比較し 15 パーセント程度の低下が生じた。これは打継目で一体性が低下したためと考えられる。したがって、詳細設計においては連結床版部の曲げひび割れ発生限界の制限値はコンクリート標準示方書に規定する設計引張強度の 85%とした。

2) 終局曲げ耐力

各試験体のコンクリート圧縮強度のばらつきを補正するため梁理論を用いた終局曲げ耐力の計算値と、試験結果との比較を行なった。その結果は表-4 となる。

表-4 試験値と梁理論による終局曲げ耐力の比較

試験体の種類	試験値① (tf)	計算値		①/②	引張鉄筋径
		終局モーメント (kNm)	終局耐力 (tf)換算②		
No.1-1-N	18.7	89.54	14.6	1.28	D19
No.1-1-E	17.8	89.54	14.6	1.22	〃
No.1-2-N	16.5	89.54	14.6	1.13	〃
No.1-2-E	17.8	89.79	14.7	1.21	〃
No.2-1-N	18.7	89.67	14.6	1.28	〃
No.2-1-E	18.7	89.67	14.6	1.28	〃

以上の結果から、接合目地部の継手鉄筋にエポキシ樹脂塗装鉄筋を使用した場合においても終局曲げ耐力は梁理論による計算値以上の終局曲げ耐力を有することが解った。

4.2 疲労試験

4.2.1 試験体の形状及び荷重方法

本試験に用いる試験体の形状は、実橋での接合床版の輪荷重による曲げ挙動に対し過酷な条件となる支間中央における接合部床版に着目した構造とし、実橋モデルによる 3 次元 FEM 解析から得られた接合部床版の挙動と等価となるよう部材寸法・結合条件などを決定した。

輪荷重走行は、連結部床版の対疲労性に着目する事から、単輪走行とした。

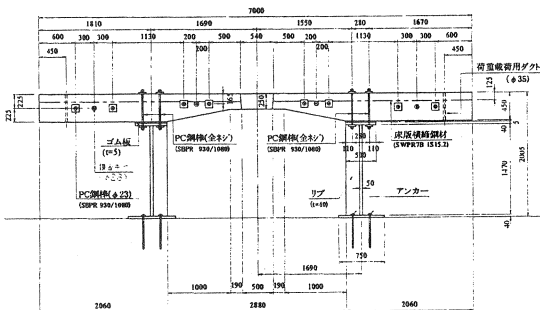


図-7 試験体断面図

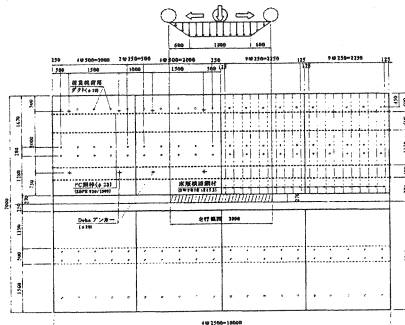


図-8 試験体平面図

本試験の載荷荷重強度と移動載荷回数との関係は、図-9 に示す通りである。東名高速道路における大型車の本線軸重計のデータを基に載荷荷重 200kN、載荷回数 10 万回往復終了時点で 50 年分に相当する交通量が走行したのと同等となることを考慮して、157kN 荷重で 30 万回移動繰り返している。

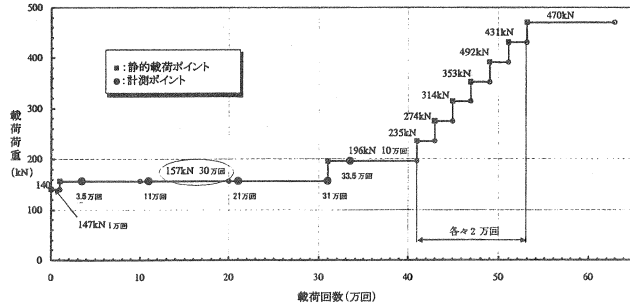


図-9 疲労載荷における載荷荷重強度と移動回数

4.2.2 試験結果

1) 鉄筋のひずみ分布

鉄筋のひずみは各載荷ステップ終了時に 98kN の静的載荷試験により計測を行った。下側鉄筋のひずみは、最大でも 60 μ 程度であり、応力に換算しても約 12N/mm² 程度で非常に小さい値であった。

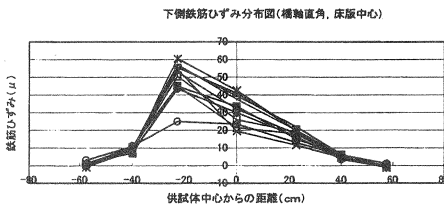


図-10 橋軸直角方向鉄筋のひずみ分布

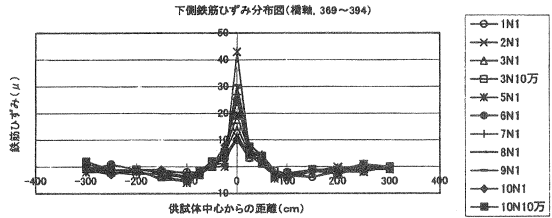


図-11 橋軸方向鉄筋のひずみ分布

2) 連結床版のたわみ分布

各載荷ステップ終了時の 98kN の静的載荷試験による橋軸直角方向および橋軸方向のたわみ分布を図-13~図-14 に示す。

たわみ量は、載荷ステップの進行に伴って多少の増加傾向が見られるが、橋軸直角方向および橋軸方向ともに左右対称の分布形状を示し、たわみ分布形状に大きな変化は見られなかった。これより、設計荷重の 4.8 倍の過大な載荷荷重に対しても、十分な床版剛性を保持する構造であることを確認できた。

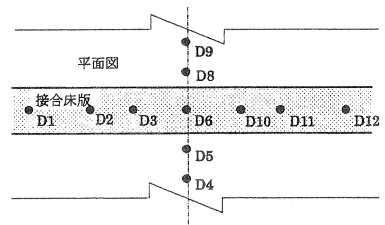


図-12 たわみ量計測位置

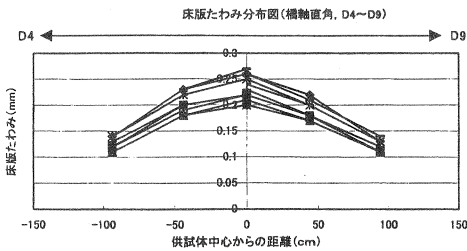


図-13 橋軸直角方向鉄筋のたわみ分布

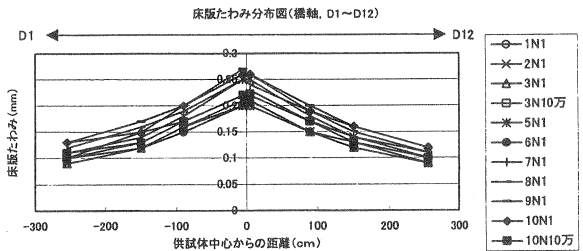


図-14 橋軸直角方向鉄筋のたわみ分布

3) ひび割れ密度

輪荷重載荷範囲の接合部床版に生じたひび割れは、試験終了時 (475kN 10 万回載荷後) には亀甲状に広がり 8m^2 を越えるひび割れ密度となったが、ひび割れ幅は 0.02mm 以下の微小なひび割れであり、版としての機能には問題のない状態であった。

表-5 ひび割れ密度

回数	測定範囲 (6m×0.5m)		回数	測定範囲 (6m×0.5m)	
	延べ長さ(m)	密度 (m/m ²)		延べ長さ(m)	密度 (m/m ²)
載荷前	2.95	0.98	4N 2 万回	8.30	2.77
1N 1000 回	3.45	1.15	5N 2 万回	11.93	3.98
1N 1 万回	3.76	1.25	6N 2 万回	15.28	5.09
2N 2.5 万回	3.85	1.28	7N 2 万回	20.26	6.75
2N 10 万回	4.00	1.33	8N 2 万回	23.24	7.74
2N 20 万回	4.81	1.60	9N 2 万回	24.31	8.10
2N 30 万回	5.54	1.85	10N 10 万回	26.74	8.91
3N 10 万回	7.31	2.44			

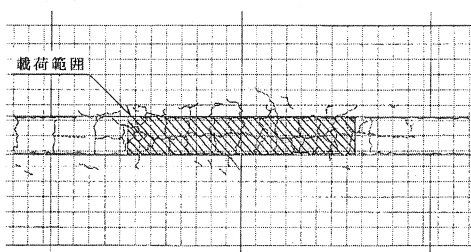


図-14 試験終了時接合部床版の下面ひび割れ発生状況

4.3 考察

静的載荷試験の結果から、接合目地を設けた場合にはひび割れ発生限界応力度が一体構造の場合より 15%程度応力低下することが解った。また本橋のダブルループ継手構造は、継手無し構造と同程度の終局曲げ耐力を有し、また設計曲げ耐力以上の耐力を確保できていることから、その安全性および適用性が確認できた。

疲労試験の結果から、実橋モデルの接合部床版が設計荷重の 4.8 倍の過大な荷重に対しても、供用下における床版機能に影響を及ぼすような残留変形の増大、ひび割れ損傷、鉄筋ひずみの増加現象は発生しておらず、十分な疲労耐久性を有することが確認できた。また、この載荷荷重および繰返し回数は、実橋の交通量に換算すると最低でも 50 年に相当しており、実橋においても十分に適用できる疲労耐久性を有していることが解った。

5. おわりに

近年の橋梁工事では、工事期間の短縮・工事費の削減・高品質の要求により、プレキャストセグメント工法による PC 箱桁橋が増加しているが、この工法による施工を行なうためには、架設現場近傍に広大なヤードを必要としてきた。しかし本橋は箱桁断面を分割することにより、遠隔地でのセグメント製作・一般公道を使用した遠距離の運搬・架設を可能にし、この工法の新たな可能性を示すことができたと考える。この報告が同様な条件におけるプレキャストセグメント工法の採用の参考になれば幸いである。

最後に本橋の設計にあたり多大なご指導を頂いた日本道路公団中部支社豊田工事事務所、及び関係各位の皆様にご場を借りて感謝の意を表する次第である。