

I - 271

P Cプレキャストセグメント連続ラーメン箱桁橋における外ケーブルの曲げ破壊時解析

日本道路公団	高松建設局	構造技術課	正会員	松田哲夫
"	"	"	正会員	○湯川保之
"	"	松山（工）	正会員	馬場照幸
"	"	構造技術課		長谷俊彦
(株)ピー・エス・住友建設(株)	共同企業体	正会員		井谷計男

1. はじめに

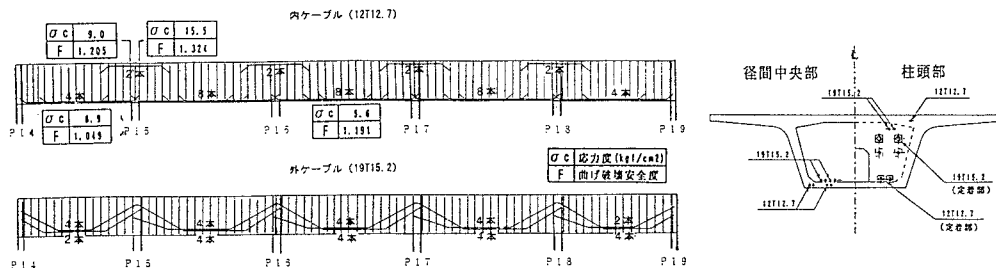
国内で初めての外ケーブルを併用したP Cプレキャストセグメント工法（内：外＝26：74）を高速度路橋に採用した。さらに、本橋の標準部の支承条件は剛結構造であり、19T15.2 ケーブルをU型配置している。したがって、上部工の断面が軽量化されただけでなく、下部工の断面も小さくでき、施工性、経済性にすぐれた型式になっている。本文は主に設計手法に関する検討内容のうち、終局荷重時の曲げ破壊抵抗モーメントの解析方法について報告する。

2. 施工工法及び主方向のケーブル配置について

プレキャストセグメント工法とは、あらかじめ工場あるいは現場近くのヤード等でブロック状に製作したプレストレストコンクリートの橋体（以下「セグメント」と記述する。）を架設現場まで個別に運搬し、橋軸方向にプレストレスを導入することにより一体の構造物を製作する工法である。セグメントの製作は橋軸方向の長さ2.6m毎に分割して1基の製作台で順次製作するショートライン製作とし、セグメントの小口端面はマッチキャスト（先行製作セグメントの端面を型枠として次のセグメントを製作する。）としている。セグメントの架設工法は、架設ガーダーを用いて1径間毎にセグメントを送り出し、主方向のP Cケーブルにより緊張するスパン・バイ・スパン架設を採用した。主方向のP Cケーブルは本橋工法の特徴を最大限生かすため、外ケーブル使用比率の高い内・外併用（内：外＝26：74）の配置としている。

3. 主方向ケーブルの検討について

本橋では1セグメント当たりの重量を約40t程度に軽減するため桁断面については、張出長を長く取りウェブ幅を薄くした形状としている。そのため主方向ケーブルについては内ケーブルを必要最小限に抑え、桁内空断面に配置可能な限り外ケーブルの使用比率を高くした配置としている。使用鋼材は内ケーブルについては鋼材配置上コンクリート部材寸法を小さくでき、かつ曲げ破壊安全度の照査で引張強度が大きく有利となる12T12.7(SWPR7B)とし、セグメント制作の省力化・機械化を図るため上下床版内のみ配置した。また外ケーブルについてはスパン・バイ・スパン架設の作業を省力化するには大容量ケーブルにして本数を少なくする方が有利となるが、桁内での作業性を考慮して19T15.2(SWPR7B)とした。



4. 外ケーブル構造における曲げ破壊耐力の算定方法

外ケーブル構造の場合、曲げ破壊抵抗モーメントの算定に際して、コンクリート断面との間に平面保持の仮定が成立しないため、付着のある内ケーブルと同様の扱いができない。現段階では計算上の便宜及び安全性の観点から外ケーブルの曲げ破壊時の増加応力度を見込まない設計が提案されているが、本橋のように外ケーブルの使用比率を大きくした場合、曲げ破壊時の照査で鋼材量が決定される設計となる。海外の曲げ破壊時のアンボンドPC梁に対する基準等では、10～20 kgf/mm²程度が規定されている。また、内外ケーブル併用のプレキャストセグメント構造としての研究はテキサス大ファーン研究室の模型実験により、支間中央で24.5～42.0 kgf/mm²、中間支点で10.5～14.0 kgf/mm²が確認された実績はある。そこで、将来的に外ケーブル構造について曲げ破壊時の鋼材増加応力度を考慮した設計手法を確立していくため設計において $\Delta \sigma_p = 10 \text{ kgf/mm}^2$ を見込むものとし、曲げ破壊試験等により安全性の確認を行なうものとした。そして曲げ破壊耐力算定時の解析手法は外ケーブルを有効引張 $\sigma_t + 10 \text{ kgf/mm}^2$ の張力が導入された引張抵抗材と考えて従来の曲げ破壊抵抗モーメントの算出手法を用いて部材断面位置での照査を行なった。

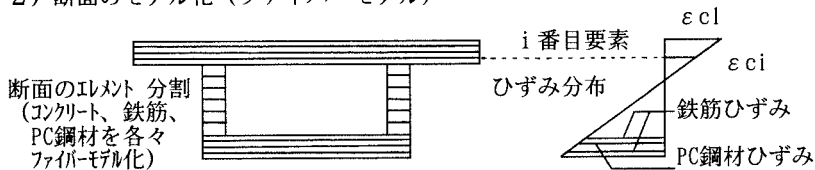
5. 終局時増加応力度の解析

設計で用いた増加応力度 10kgf/mm^2 の妥当性を検証するため、2径間連続箱桁をモデルとした非線形解析を以下の方法で行った。なお、同じ1/3モデルでの実験（別報）も行っている。

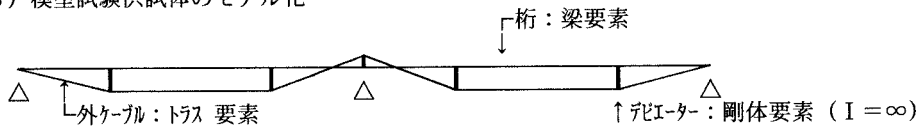
1) 解析手法

- ①材料非線形性を考慮する断面解析モデルとしてファイバーモデルを採用する。
- ②幾何学的非線形性を考慮するため、平面骨組有限変形解析を採用する。
- ③外ケーブルは、定着部及びデビエータを通過するものとしてモデル化する。

2) 断面のモデル化（ファイバーモデル）

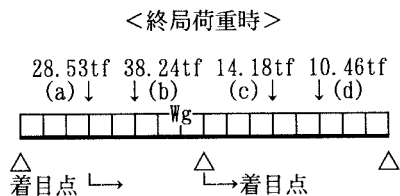


3) 模型試験供試体のモデル化



※ デビエーター部で、外ケーブルの軸方向の変位を拘束しないスライドモデルと、変位を完全に拘束する固定モデルの両方で解析した。

4) 非線形解析



実橋設計では、側径間中央部の外ケーブルが曲げ破壊耐力の照査でPC鋼材量が決定されているため本解析は径間中央部に着目した荷重載荷とした。その荷重は、道示の終局荷重時相当分とした。（左図参照。荷重は、弾性計算値を示す。）
デビエーターを全スライド・全固定とした場合の弾性解析と非線形解析結果を、支間中央部の曲げモーメント及び外ケーブル鋼材応力増加量で下表に示す。

＜ 解析結果一覧表 ＞

荷重ケース	デビエーターモデル	曲げモーメント			外ケーブル軸力		歪み
		弾性 (tf・m)	非線形 (tf・m)	再分配率 (%)	軸力量 (tf)	応力増加量 (kgf/mm ²)	
終局荷重時	スライド	352.7	338.0	-4.2	299.1	4.8	478
	固定	352.8	342.4	-2.9	322.6	14.1	439
破壊荷重時	スライド	366.0	347.9	-4.9	301.4	5.7	518
	固定	366.1	352.9	-3.6	328.6	16.5	473

※再分配率：（非線形モーメント－弾性モーメント）／弾性モーメントと定義した。

※応力増加量：外ケーブル全体の平均値である。

6. あとがき

非線形解析では $5\sim 15\text{kgf/mm}^2$ 程度の鋼材増加応力度となった。これに対して、曲げ破壊試験においては終局荷重時 10kgf/mm^2 以上の増加応力度が確認され曲げ破壊耐力も十分あることが確認できた。本解析にあたり、御指導いただいた横浜国立大池田教授をはじめ、先輩諸氏に謝意を表します。