

全外ケーブル・プレキャストセグメント橋の非線形解析

日本道路公団 中部支社 構造技術課 正会員 池田 博之
 鍋田高架橋西工事共同企業体 正会員 ○関井 勝己
 (株)ピー・エス 大阪支店 正会員 伊藤 祐一
 鍋田高架橋西工事共同企業体 正会員 西永 卓司

1. はじめに

第二名神高速道路鍋田高架橋 (PC上部工) 西工事では、工期の短縮化、省力化および将来の維持管理を考慮し、大部分の橋梁に全外ケーブル構造プレキャストセグメント工法を採用した。全外ケーブル構造のプレキャストセグメント橋は次のような構造特性により従来の設計手法が成り立たない。

- ① 平面保持の仮定が成り立たない。
- ② セグメント目地部には付着のある引張弦材が無いためトラス理論が成り立たない。
- ③ 終局時はセグメント目地が開くため、終局耐力の計算が難しい。

設計荷重時については引張りを許さない構造として、従来の手法 (道路橋示方書・同解説、Ⅲコンクリート橋編) に準拠しても良いと判断して計算した。終局荷重時の曲げ耐力とせん断耐力の算定に、非線形解析を用いることとした。この解析では、材料非線形、幾何学的非線形 (主桁のたわみ変形に伴う外ケーブルの偏心とセグメント目地の開き) をシミュレーションするためにファイバー要素と GAP 要素を用いた。本稿では、鍋田高架橋西工事の全外ケーブル構造プレキャストセグメント橋の非線形解析について報告する。

2. 鍋田高架橋 (PC上部工) 西工事の概要

- ・ 工事名：第二名神高速道路 鍋田高架橋 (PC上部工) 西工事
- ・ 道路規格：第1種2級 (V=100km/h)
- ・ 活荷重：B活荷重
- ・ 施工方法：①コンクリートウェブの本線橋；
 プレキャストセグメント、架設桁によるスパン-バイ-スパン架設
- ②ランプ橋；
 プレキャストセグメント、オールステーキングによるスパン-バイ-スパン架設
- ③波形鋼板ウェブ橋； 場所打ち張出し架設

表-1 橋名、橋長、幅員、形式

橋名	橋長 (m)	有効幅員 (m)	構造形式
鍋田高架橋 (上・下線)	487.0 487.0	14.00	PC 3 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋 PC 5 径間連続箱桁橋
鍋田西高架橋 (上・下線)	194.9 243.7	14.00~21.00	PC (4+5) 径間連続箱桁橋
長島東高架橋 (上・下線)	531.3 482.6	14.00	PC (11+12) 径間連続箱桁橋
鍋田 IC B ランプ橋	157.0	7.00	PC 3 径間連続箱桁橋
鍋田 IC C ランプ橋	157.0	7.00	PC 3 径間連続箱桁橋

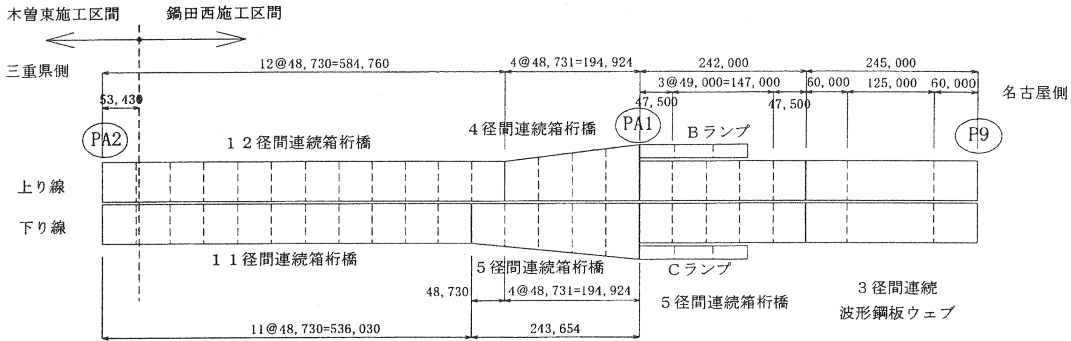


図-1 概略平面図

3. 主要材料

- コンクリート：設計基準強度 $\sigma_{ck}=50\text{N/mm}^2$
- P C 鋼材：SWPR7BL 19S15.2 (主方向は全外ケーブル)
- 鉄筋：SD345 許容引張応力度 $\sigma_{sa}=180\text{N/mm}^2$

4. 非線形解析の概要

(1) 目的

- ①材料と幾何学的非線形性を考慮した終局曲げ耐力を算定する。
- ②破壊時の外ケーブルの増加張力を算定する。
- ③終局荷重状態のセグメント目地位置での圧縮高さを算定し、終局荷重時でのせん断伝達耐力を計算する。

(2) 考慮する非線形性

- ① コンクリート、P C 鋼材、鉄筋の応力-ひずみ関係 (材料非線形)
- ② 主桁の変形に伴う外ケーブルの偏心量の変化 (幾何学的非線形)
- ③ 主桁の変形に伴うセグメント目地の開き (幾何学的非線形)

(3) 構造モデル

5径間連続桁(上り線)を構造モデルとした。ケーブル形状、接点番号、要素番号、GAP要素の配置等は図-4、5に示す。

(4) 断面モデル

材料非線形、幾何学的非線形を考慮するために図-2のようなファイバー要素による断面モデルとした。また、セグメントの目地の開きをシミュレーションするために目地開きの起こりうる箇所にGAP要素を配置した。

(5) GAP要素

支点付近及び径間中央のセグメント目地が開くと想定される位置にGAP要素を配置した。GAP要素は圧縮に抵抗するが、引張には抵抗しない要素である。

図-3のように、主桁部材間にGAP要素を配置した。圧縮力によるGAP要素の変形が構造全体の変形や挙動

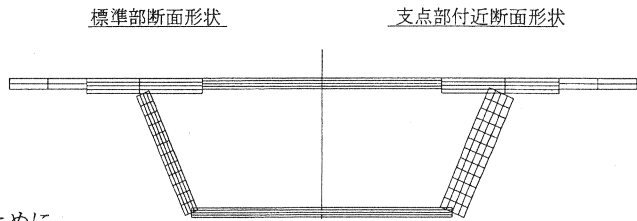


図-2 断面モデル

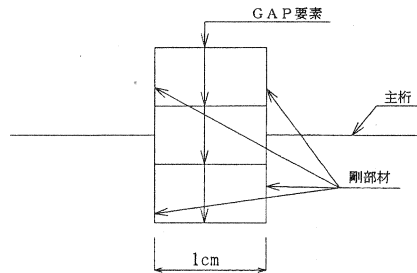
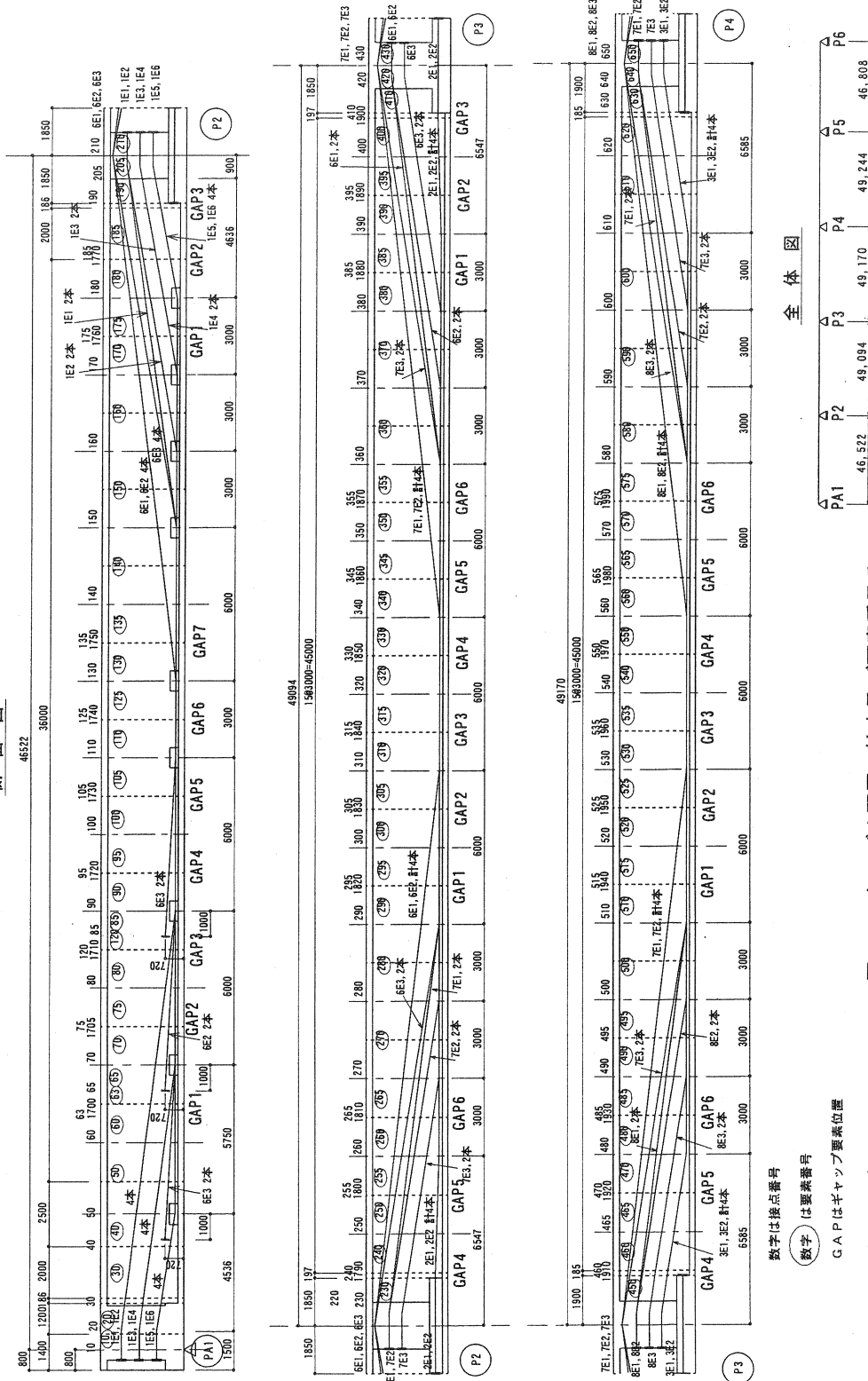


図-3 GAP要素

側面図



全体図

図-4 ケーブル配置、接点及び要素番号その1

数字は接点番号

○ は要素番号

GAPはキャップ要素位置

に影響しないように長さ1cmとし、軸方向バネ、およびせん断方向バネは主桁本体と比べて10倍程度の剛性を持たせた。

主桁断面内には材断面内には図-6のように配置した。

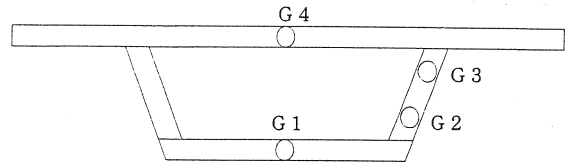


図-6 GAP要素設定箇所(概念図)

5. 活荷重載荷ケース

(1) 着目断面

- CASE-A 側径間中央
- CASE-B 第1中間支点
- CASE-C 第2径間中央

(2) 活荷重載荷位置

活荷重は、着目する位置に対して影響線載荷を行う。

(3) 載荷方法

載荷方法はプレストレスをP、死荷重をD、活荷重をLとして以下のとおりとする。

載荷方法1:

$$P + \alpha 1 \times (D + L)$$

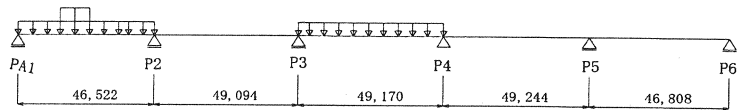
載荷方法2:

$$P + 1.3 \times D + \alpha 2 \times L$$

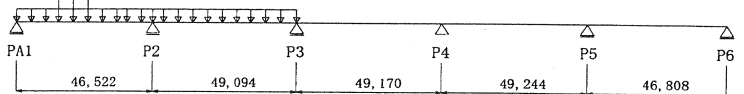
各ケースについて

- 載荷方法1: $\alpha (D + L)$
- 載荷方法2: $1.3D + \alpha L$

CASE-A 側径間中央に着目



CASE-B 第1中間支点到に着目



CASE-C 第2径間中央に着目

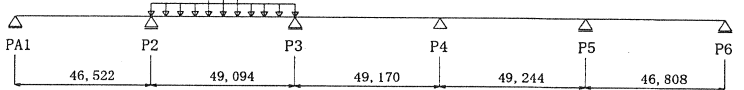


図-7 活荷重載荷ケース

6. 解析結果

(1) 曲げ破壊状況

各載荷ケース及び載荷方法において、 $\alpha 1 > 1.7$ 、 $\alpha 2 > 2.5$ であり、曲げ破壊に対して十分安全である。破壊形態は径間中央で破壊することなく中間支点付近の部材下縁での圧縮破壊であった。

表-2 ケース毎の破壊位置と形態

	CASE-A (PA1~P2 中央)	CASE-B (P2 支付近)	CASE-C (P2~P3 中央)
載荷方法1 $P + \alpha 1 \times (D + L)$	$\alpha 1 = 2.45$	$\alpha 1 = 2.4$ ($\alpha 1 = 2.55$)	$\alpha 1 = 2.786$
破壊位置 破壊形態	P2 付近 P3 側部材下縁 圧縮破壊	P2 付近 P3 側部材下縁 圧縮破壊	P2 付近 P3 側部材下縁 圧縮破壊
載荷方法2 $P + 1.3D + \alpha 2 \times L$	$\alpha 2 = 8.85$	$\alpha 2 = 8.4$	$\alpha 2 = 6.91$
破壊位置 破壊形態	P2 付近 P3 側部材下縁 圧縮破壊	P2 付近 P3 側部材下縁 圧縮破壊	P3 付近 P4 側部材下縁 圧縮破壊

* ()内の $\alpha 1$ の値は、GAP要素無しで解析した値。

CASE-B 載荷方法1においてコンクリートセグメントの目地の開きを考慮しない場合 (GAP要素無し) との比較を行った。この場合でも $\alpha 1 = 2.55$ となり、GAP要素有りの場合と比べると大差なく、破壊位置・形態は同じであった。

(2) 外ケーブル増加張力

外ケーブルの増加張力は、CASE-C 荷重方法 2 が最小で $179\text{N}/\text{mm}^2$ であり、それ以外は $200\text{N}/\text{mm}^2$ 以上であった。線形の FRAME 解析では、増加張力を $20\text{N}/\text{mm}^2$ とした場合、曲げ破壊安全度は 1.2% の余裕しかないが、非線形解析では十分に余裕がある。これは、荷重の再分配が線形計算には考慮出来ないことが原因と思われる。荷重の再分配等を考慮して、増加張力を $20\text{N}/\text{mm}^2$ として問題ないと判断した。

(3) せん断耐力の計算

各ケースの終局荷重状態において最も開いたセグメント目地の圧縮高さを求めた。また、通常の線形 FRAME 解析より各ケースの終局荷重時の軸力とせん断力を求めた。それらの値より、コンクリート標準示方書 6.3.7 設計せん断伝達耐力の算定式からせん断伝達耐力を求め、終局荷重時のせん断力に対する安全性を確認した。

7. 拘束鉄筋

全外ケーブル構造のセグメント工法には、工期の短縮、高品質、省力化および維持管理などの長所があるが、セグメント目地部において、コンクリートと付着のある鋼材がないことから以下の短所がある。

- ① 曲げによる破壊はケーブルが降伏する前にコンクリートの圧縮破壊によるため脆性的である。
- ② ひび割れが分散しないので、変形性能に劣る。

これらの短所を改善するために、VIRLOGEUX¹⁾や陸好ら²⁾³⁾は終局荷重時の圧縮部に拘束鉄筋を配置することを推奨している。そのため、本橋は断面の上下方向に配置した 4 つの GAP 要素のうち 2 つ以上が離れた断面に拘束鉄筋を配置することとした。

8. まとめ

全外ケーブル構造プレキャストセグメント橋の設計は本橋が日本で初めてであったが、設計完了にあたり次のようにまとめることができた。

- ① ファイバー要素と GAP 要素を用いた非線形解析で全外ケーブル構造プレキャストセグメント橋の安全性を確認できた。
- ② 全外ケーブル構造プレキャストセグメント橋の設計手法を確立することができた。
- ③ 拘束鉄筋を配置することで、終局時の変形性能の向上を図った。

今後の課題として、

- ① 実橋が非線形解析での挙動と一致するかは確認されていない。
- ② 適切な拘束鉄筋量や配置が明らかではない。
- ③ このような非線形解析を用いた設計は大変複雑である。

今後このような課題を解決し、より優れた橋梁の構造形式の追求とシンプルな設計法の確立に努力したい。

謝辞

本橋の非線形解析にあたり、多大なご協力を頂いた(株)日本総合研究所の吉野氏に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) Michel VIRLOGEUX: Some Elements for a Codification of External Prestressing and of Precast Segments, EXTERNAL PRESTRESSING IN STRUCTURES - AFPC, France-June 1993, PP. 449-466
- 2) 陸好、山口、MATUPAYONT、徳山: プレキャストセグメントを用いた外ケーブル式 PC はりの曲げ性状および靱性改善に関する研究、土木学会論文集 No. 544/V-32, 155-165, 1996. 8
- 3) ARAVINTHAN, MUTUYOSHI, AIZAWA: INFLUENCE OF INTERNAL BONDED TENDONS ON STRENGTH AND DUCTILITY OF PRECAST SEGMENTAL PC BEAMS WITH EXTERNAL PRESTRESSING、土木学会第51回年次学術講演会 (平成 8 年 9 月) 第 5 部 V-457, pp. 912-913