

(103) 5 径間連続内外ケーブル併用方式 PC 桁のパラメータ解析

(株) ビー・エス 土木技術部	正会員 ○河村 直彦
日本道路公団 大阪建設局 西神戸工事事務所	松田 哲夫
日本道路公団 四国支社 建設部	湯川 保之
(財) 高速道路技術センター 構造技術部	鹿野 善則

1 はじめに

近年、急速施工、軽量化、機械化等を目的として、内外ケーブル併用方式 PC 桁が多く計画されている。しかしながら、本方式を多径間連続桁に採用した場合、終局時の挙動、特に塑性ヒンジの形成によるモーメントの再分配や主桁の変形に伴う外ケーブルの増加応力度等については不明な点が多い。

今回、5 径間連続内外ケーブル併用方式 PC 桁を対象に、コンクリート強度およびデビエータ配置をパラメータとした解析を行い、これらのパラメータが終局時の挙動に与える影響を検討したのでここに報告する。

2 解析方法

2.1 解析モデル

本パラメータ解析の対象として、5 径間連続内外ケーブル併用方式 PC 桁で、かつプレキャストセグメント工法による重信高架橋 H 橋を採用した。本モデルにおいては、実橋と同様にセグメント継目では鉄筋は連続していないものとして解析した。

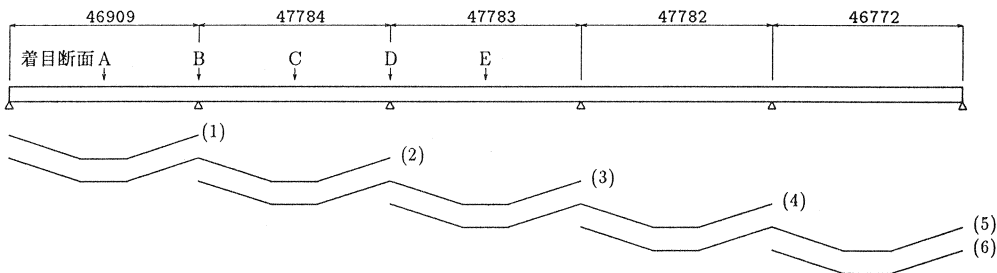


図-1: 寸法図および外ケーブル配置図

2.2 使用プログラム

本解析には、参考文献<sup>1)</sup>によるプログラムを使用した。本プログラムは、材料非線形および幾何学的非線形を扱うことができることを特徴としている。

2.3 材料特性

材料特性は、示方書等によるものを使用した。

● コンクリート

コンクリートは、接着剤の効果を考慮して引張強度をもたせることとし、その値は  $\sigma_t = 0.5\sigma_{ck}^{2/3}$  ( $\sigma_{ck}$  は設計基準強度) とした。応力～ひずみ関係は、図-2のとおりである。

コンクリートの終局ひずみ  $\epsilon_{cu}$  は、 $\epsilon_{cu} = 3500 \times 10^{-6}$  としたが、土木学会コンクリート標準示方書設計編では高強度コンクリートを用いた場合にはコンクリートの終局ひずみを低減することが示されている。これにより、 $\sigma_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$  については、 $\epsilon_{cu} = 2500 \times 10^{-6}$  の場合も検討した。

● PC 鋼材

PC 鋼材の応力～ひずみ関係は、図-3のとおりである。また、デビエータでの外ケーブルとデビエータとの単位角あたりの摩擦係数  $\mu$  は、 $\mu = 0.0$  で検討した。

● 鉄筋

鉄筋の応力～ひずみ関係は、図-4のとおりである。

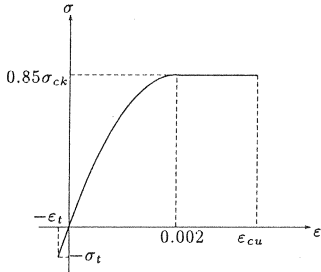


図-2: コンクリートの材料特性

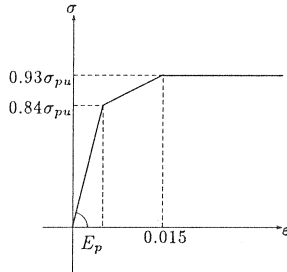


図-3: PC鋼材の材料特性

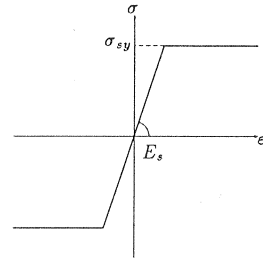


図-4: 鉄筋の材料特性

2.4 荷重および載荷方法

荷重については、以下のとおりとした。

- 死荷重は、設計計算書におけるクリープ終了時のものを使用した。
- 活荷重はB活荷重とし、それぞれの着目断面で活荷重が最大(径間中央)または最小(中間支点)になるように影響線載荷を行った。

各着目断面に対する載荷状態とモーメント分布を図-5に示す。

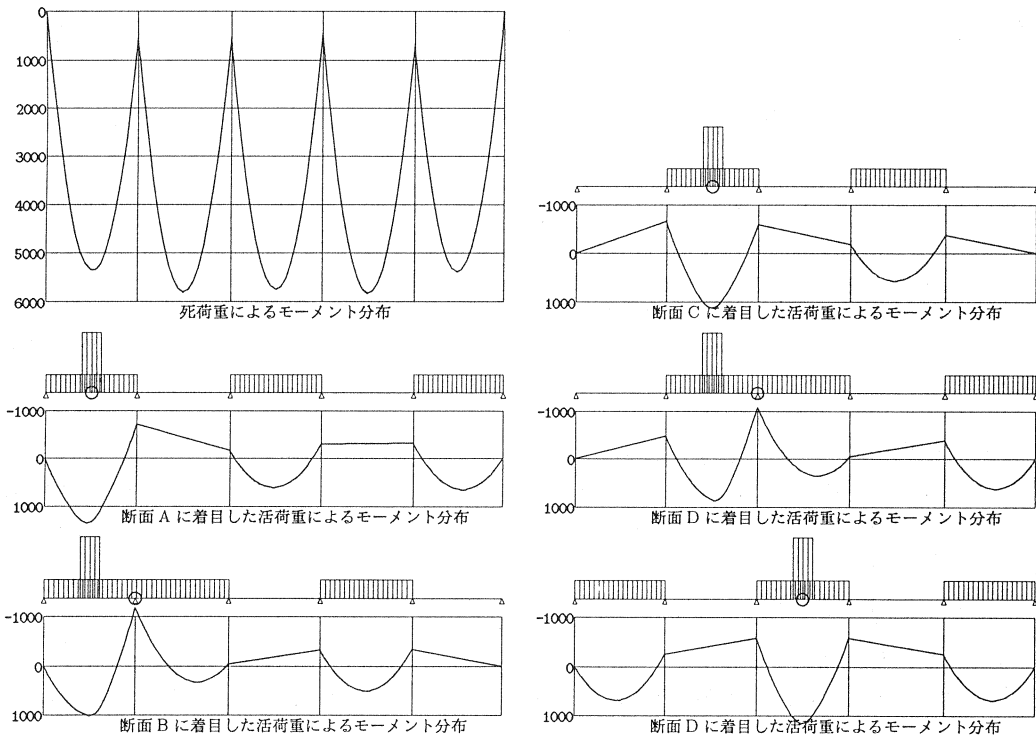


図-5: モーメント分布図(単位は  $tf \cdot m$ )

また、載荷方法は、 $1.0(D+L)$ を初期状態とし、ここから徐々に $0.05(D+L)$ を基準とした荷重を徐々に増加させ、コンクリートの最大圧縮ひずみが終局ひずみになるまで荷重を増加させた。そして、破壊荷重が道路橋示方書での終局時荷重である $1.7(D+L)$ を上回っていることを確認するとともに、この間の変形状態や外ケーブルの増加応力度を追跡した。

### 3 コンクリート強度をパラメータとした場合の解析

#### 3.1 解析方法

コンクリートの設計基準強度  $\sigma_{ck}$  を 400, 500, 700 kgf/cm<sup>2</sup> の 3 通りに変化させて、各着目断面に対する解析を行った。

#### 3.2 解析結果

設計基準強度と破壊荷重の関係を表-1に示す。なお、 $\sigma_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$  については、 $\epsilon_{cu} = 3500 \times 10^{-6}$  での結果を (1)、 $\epsilon_{cu} = 2500 \times 10^{-6}$  での結果を (2) として示す。

さらに、破壊時の変形状態を図-6に、外ケーブル増加応力度を図-7に示す。なお、図-6中の○は破壊位置を示す。 $(\sigma_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2)$  については、破壊時は  $\epsilon_{cu} = 3500 \times 10^{-6}$  での結果である) また、図-7中の+はコンクリートの最大圧縮ひずみが  $2500 \times 10^{-6}$  に達していることを示す。

各载荷において、モーメントの再分配が行われることにより、破壊位置が必ずしも着目断面ではないことがわかる。また、実橋の設計基準強度 (500kgf/cm<sup>2</sup>) ではすべての着目断面において終局荷重 1.7(D+L) を上回っており、曲げ破壊に対して安全であることが確認された。

コンクリート強度と破壊時の性状については、コンクリート強度が増加するにつれて、 $\epsilon_{cu}$  が同じならば、破壊荷重、増加応力度とも増加していることがわかる。

表-1: 設計基準強度と破壊荷重の関係

着目断面		破壊荷重 (×(D+L))				
		A	B	C	D	E
$\sigma_{ck}$	400	1.85	1.85	2.08	2.12	2.15
	500	1.95	2.00	2.25	2.30	2.24
	700(1)	2.03	2.07	2.35	2.38	2.36
	700(2)	1.95	2.00	2.25	2.27	2.25

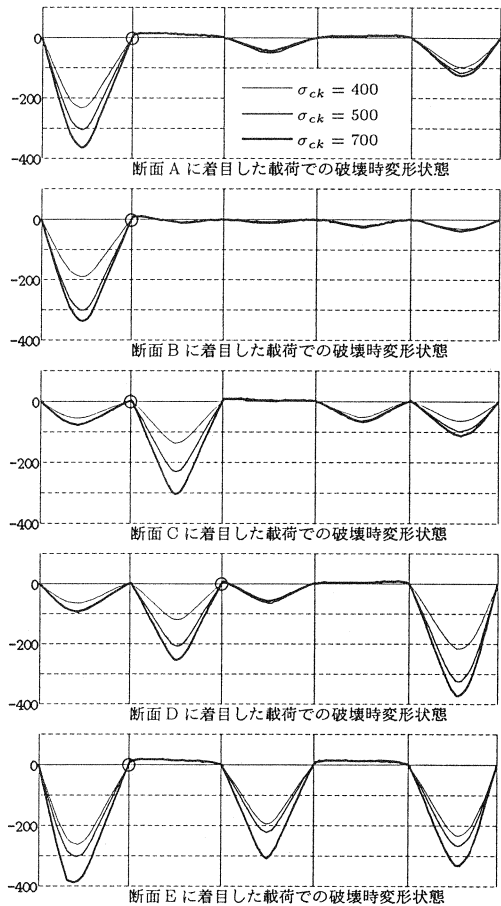


図-6: 破壊時変形状態 (単位は mm)

また、土木学会コンクリート標準示方書設計編にしたがい高強度コンクリートを用いた場合に終局ひずみを低減する場合には、 $\sigma_{ck} = 700 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\epsilon_{cu} = 2500 \times 10^{-6}$  のものは、 $\sigma_{ck} = 500 \text{ kgf/cm}^2$ ,  $\epsilon_{cu} = 3500 \times 10^{-6}$  のものと破壊荷重、増加応力度はほぼ同程度となった。

#### 3.3 考察

通常の内ケーブル橋ではコンクリート強度が曲げ破壊抵抗モーメントの増加にはほとんど寄与しないことに対して、外ケーブル橋はコンクリート強度が増加するにつれて、破壊荷重、増加応力度とも増加している。これは、コンクリート強度の増加に伴い終局時の圧縮領域を小さくすることができ、それによりひずみ分布の勾配を大きくとることができ、その結果主桁の変形が大きくなり外ケーブル応力度の増加に対して有効となった

ためであると考えられる (図-8)。

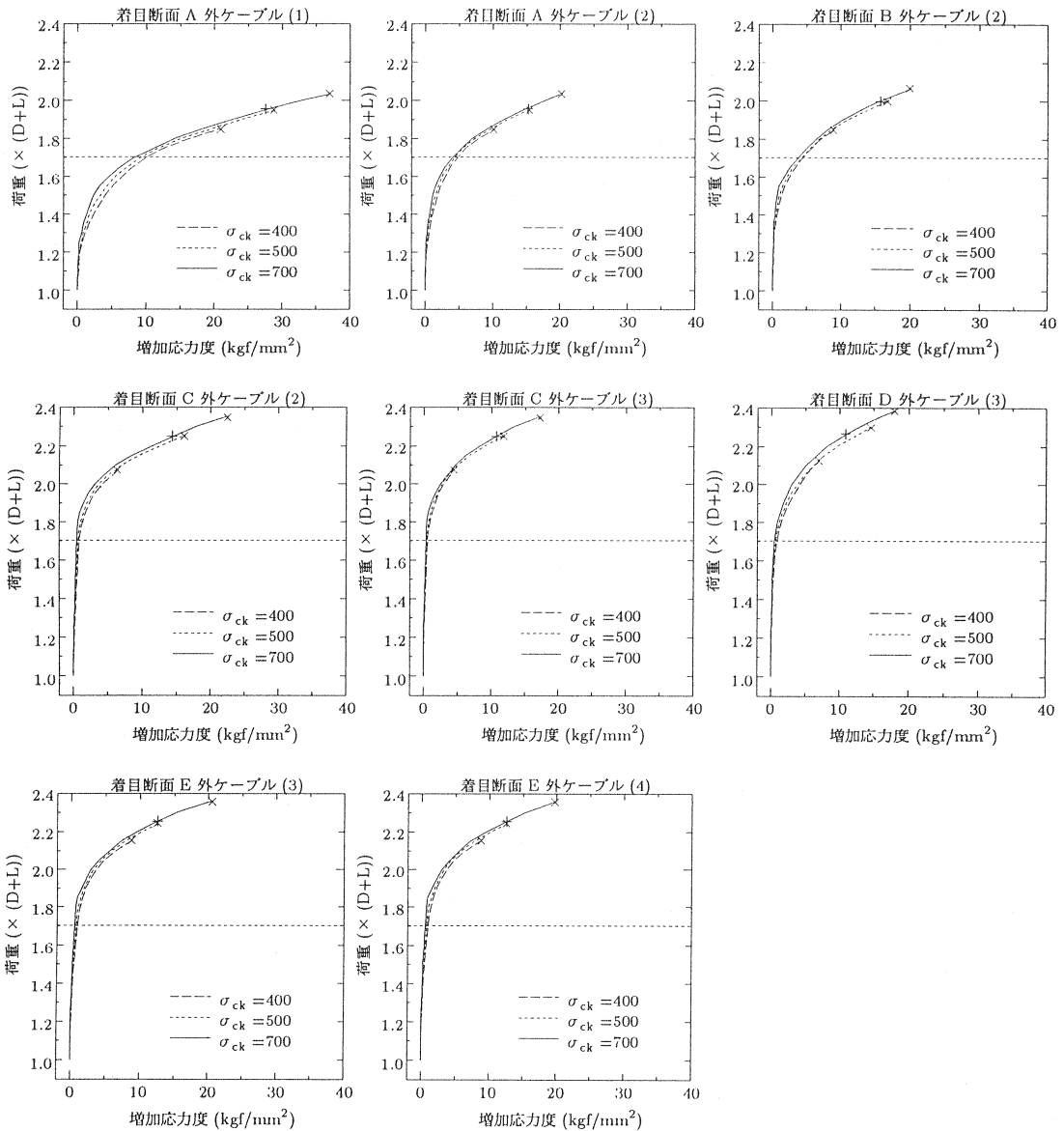


図-7: 外ケーブルの増加応力度

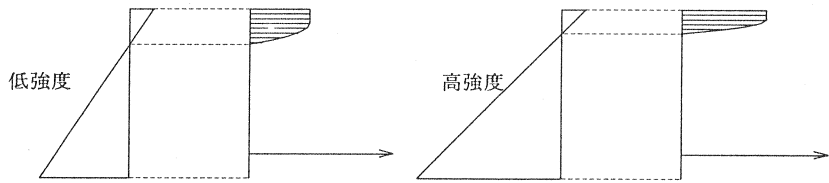


図-8: コンクリート強度による違い

## 4 デビエータ配置をパラメータとした場合の解析

### 4.1 解析方法

実橋のデビエータ配置は、各外ケーブルにつき1スパンあたり2個所である。本解析では、デビエータ位置をスパン中央1個所のみとした場合についての検討を行っている。コンクリートの設計基準強度 $\sigma_{ck}$ は $500\text{kgf/cm}^2$ の場合のみ検討した。

なお、厳密にはプレストレス2次力の影響がでてくるが、今回は考慮していない。



図-9: デビエータ配置

### 4.2 解析結果

デビエータ配置と破壊荷重の関係を表-2に示す。

さらに、破壊時の変形状態を図-10に、外ケーブル増加応力度を図-11に示す。なお、図-10中の×はデビエータ1個所時での破壊位置を示す。

表-2: デビエータ配置と破壊荷重の関係

着目断面		破壊荷重 ( $\times(D+L)$ )				
		A	B	C	D	E
デビエータ	2個所	1.95	2.00	2.25	2.30	2.24
	1個所	1.71	1.77	2.15	2.00	1.91

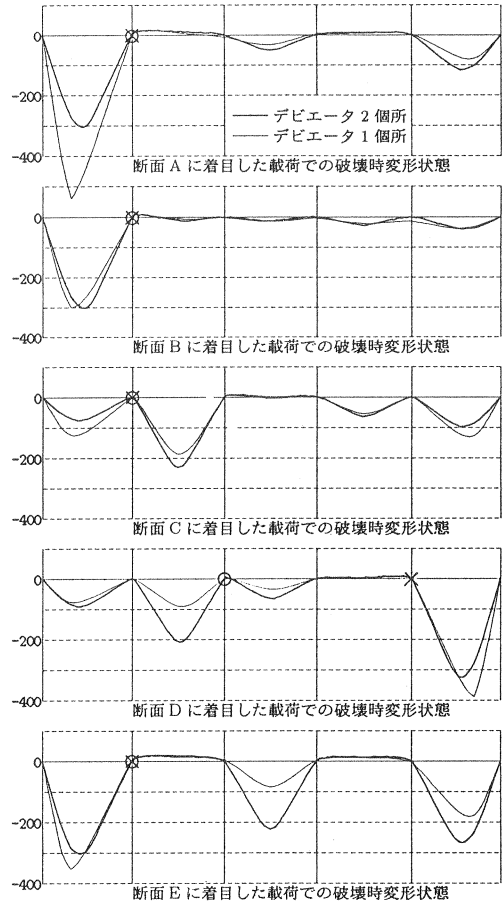


図-10: 破壊時変形状態 (単位は mm)

### 4.3 考察

デビエータを径間中央1個所とした場合は、2個所のものに対して、次のような結果となった。

1. 破壊荷重はおおよそ10%程度低下する。
2. 増加張力は側径間に着目した载荷方法ではあまり差異はないが、中央径間に着目した载荷方法では増加張力は小さくなる。

前者については、デビエータ1個所では径間中央部でのクラックの伸張が早い段階から発生し、モーメントの再分配が進むためであると思われる。

後者については、主桁の変形が側径間でより大きくなり、中央径間の変形が抑えられたためであると思われる。

## 5 まとめ

以上をまとめると、次のとおりとなる。

1. 外ケーブル構造では、コンクリートの強度の高いほど、破壊荷重、増加張力とも大きくなる。
2. 連続桁の場合、デビエータは分散して配置する方が破壊荷重が大きくなる。

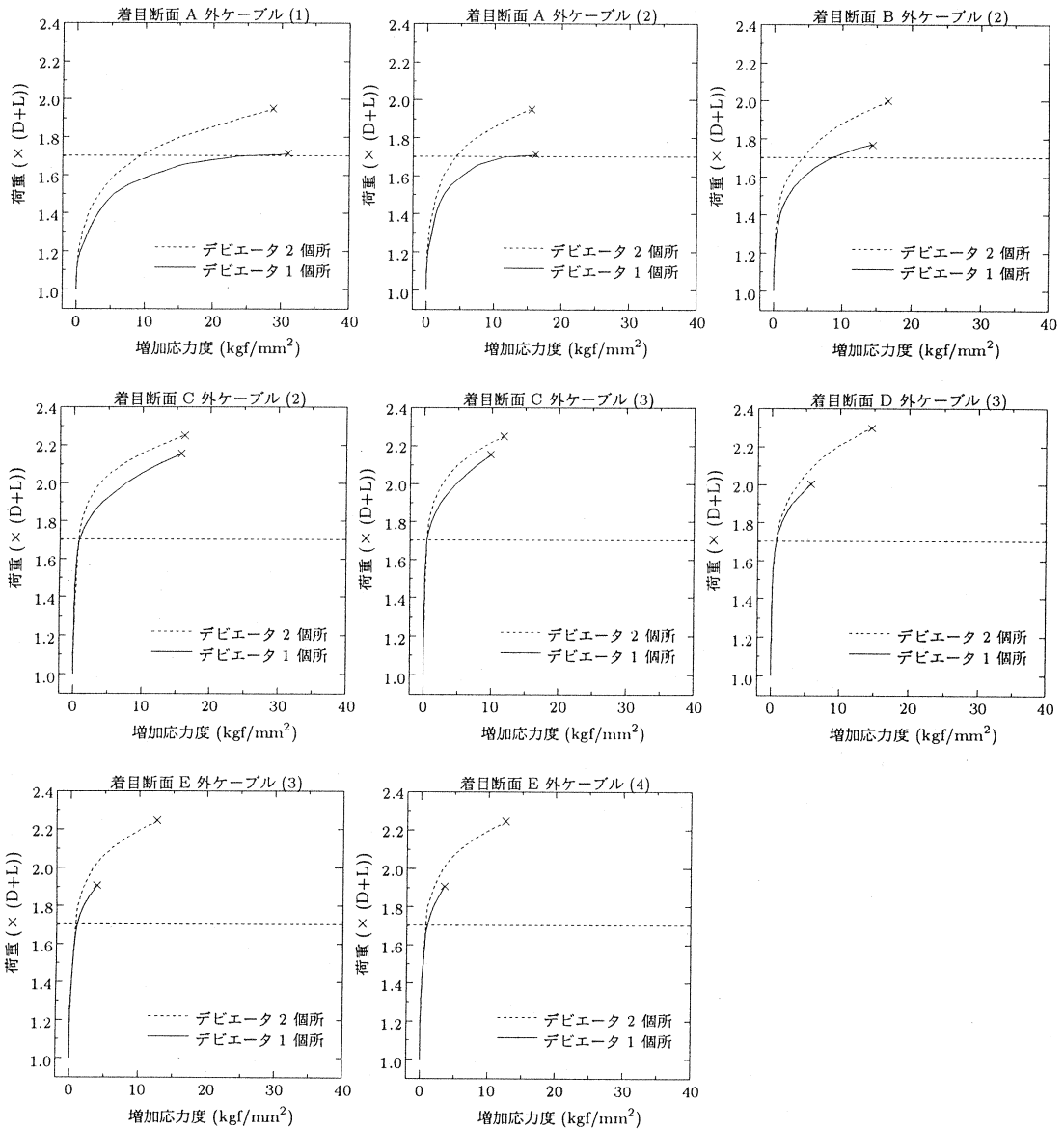


図-11: 外ケーブルの増加応力度

## 謝辞

本研究は松山自動車道重信川高架橋 PC プレキャストブロック工法に関する技術検討の一環として行われたものであることを報告するとともに、関係された各位に多大の助言をいただいたことを感謝します。

## 参考文献

- 1) 河村, 大浦: デビエータでの摩擦を考慮した外ケーブル方式 PC 桁の非線形解析, 第5回 プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集 pp.299-302