

# (V-49) ボックスラーメンの補強技術に関する研究

東海大学 正会員 島崎洋治  
東電設計(株) 正会員 ○円谷喜只  
東電設計(株) 正会員 小室真一

## 1. 研究目的

本研究は、電力洞道、地下鉄道、下水道等地中に埋設されたボックスラーメンが、鉄筋の腐食等によって低下した耐力の回復、向上を図るために、ボックス内面側からプレストレスを導入する実用的な補強方法を提案し、モデル実験やFEM解析により、その効果を検証したものである。

## 2. モデル実験による検討

### (1) 対象モデルとひびわれ限界レベル

ここでは、主にプレストレス導入によるコーナー部の補強効果を確認するためにボックスカルバートの1/4モデルを作成し、①コーナー部補強筋の効果、②緊張力とひびわれ限界レベルの把握、③プレストレス分布と解析との対応、等について実験的に検討した。検討の対象としたモデルを図-1に、また、コーナー部に生ずる断面力に対して、各々の限界状態を得るのに要する緊張力を表-1に示す。

### (2) 実験概要

#### a. 試験供試体

試験供試体は、実物大サイズの1/4モデルとした。PC鋼材挿入用溝は、ウォータージェットを用いてコンクリートを切削し、PC鋼材及び補強筋を配置した後、無収縮モルタルで埋め戻した。この時のPC鋼材の曲げ半径は $R=350\text{mm}$ である。PC鋼材は摩擦損失低減のためアンボンド鋼材を用いた。

#### b. 試験方法

試験のパラメータは、表-2に示すように、①緊張力、②コーナー部補強筋の有無、③ステンレスシート補強の有無とし、3ケースで行った。載荷は単調増加とし、最大緊張力まで到達後、単調除荷した。計測項目は、①アンボンド鋼材の摩擦係数、②ひずみ分布、③ひびわれ発生荷重、等である。

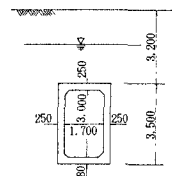


図-1 検討対象モデル

表-1 ひびわれ限界状態レベルと緊張力の対応

| レベル  | 限界状態                         | 緊張力(kN) |
|------|------------------------------|---------|
| レベルⅠ | コンクリートに引張応力が発生しない限界状態        | 75.2    |
| レベルⅡ | コンクリート応力が設計基準強度の60%を超えない限界状態 | 51.9    |
| レベルⅢ | コンクリートのひびわれ幅が許容値を超えない限界状態    | 20.4    |
| レベルⅣ | 鉄筋の応力度が許容値を超えない限界状態          | 18.7    |
| レベルⅤ | プレストレスを導入しない現状の状態            | —       |

### (3) 実験結果及び考察

#### a. ひずみ分布及びひびわれ発生

各計測位置における目標荷重載荷時のひずみ分布の一例をFEM解析値と比較して図-3に示す。実験値はFEMの解析値に対して80~90%のプレストレスが導入されており、また、ひずみ分布の形状は計算結果に酷似していることがわかる。

表-2 試験ケース

| No. | PC鋼材    | 緊張力  | 圧入 | 鉄筋補強 | 引出防止筋 | シート補強    |
|-----|---------|------|----|------|-------|----------|
| ①   | T15.2mm | 20tf | ○  | ○    | ○     | ステンレスシート |
| ②   | T15.2mm | 20tf | ○  | ○    | ○     | ステンレスシート |
| ③   | T21.8mm | 45tf | ○  | ○    | ○     | ステンレスシート |

#### b. 摩擦係数

摩擦係数の変化は図-4に示すように、各ケースの平均値で、①0.15、②0.05、③0.10といずれも小さな値であった。このうち①ではシース破損対策としてエポキシ鋼材をアンボンド加工して用いており、このエポキシコート表面の砂粒が摩擦を大きくしているものと考えられる。

補強筋のひずみはほぼ線形に推移し、異常は見られなかったが、③供試体においては30tfを超えてから、抜出し防止アンカー筋に顕著な変化が現れた。また供試体にひびわれが発生したのは、③供試体のみで、40tf載荷した段階で、コーナー部内面にPC鋼材方向に沿うひびわれが発生した。このひびわれ幅は、45tf載荷時において約0.05mmであった。これらのことから緊張力30tf程度までは、コーナー部鉄筋は不要と考えられる。

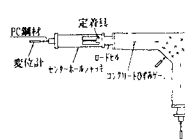


図-2 試験方法

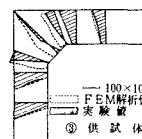


図-3 コンクリートのひびわれ

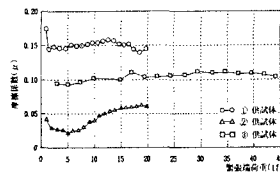


図-4 摩擦係数の変化

## 3. 数値解析による検討

地中に埋設されているボックスカルバートにおいては、常に土圧、水圧等の外力が作用している。これらの外力が作用するモデルにおいて、2次元及び3次元のFEM解析を用いて、PC鋼材の配置方法及び配置間隔の検討、PC鋼材挿入用溝切削による断面欠損時の安全性に対する検討を行った。

### (1) 解析概要

#### a. PC鋼材最適配置方法の検討

PC鋼材の配置は、表-3に示すように、①隅角部のみに配置する場合、②断面全周に直線配置

する場合、③断面全周に偏心配置する場合について2次元FEMにより検討した。なお、ボックスカルバートに対する周辺地盤の拘束は、バネ支持で表現した。

#### b. PC鋼材配置間隔の検討

ボックスカルバート全域にわたってほぼ均一にプレストレスを導入できる最大のPC鋼材配置間隔を3次元FEMにより検討した。検討ケースは表-4に示すように50cm間隔で200cmまでとした。

#### c. 断面欠損時の安全性に対する検討

PC鋼材の配置は、ボックス内空間よりウオータージェットを用いて溝を切削して行う。その際、短期間であるが断面欠損状態となり、部分的に過大な応力集中が起こることが考えられる。ここでは、3次元FEM解析により溝切削間隔がどの程度であれば、構造物を損傷することなく、安全に施工できるかを検討した。解析ケースを表-5に示す。

表-3 PC鋼材配置検討の解析ケース

| 解析     | CASE ①                       | CASE ②                    | CASE ③                    | CASE ④                           |
|--------|------------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| PC鋼材配置 | プレストレス導入なし<br>(No prestress) | PC鋼材を隅角部のみに配置<br>(Corner) | PC鋼材を断面全周に直線配置<br>(Round) | PC鋼材を断面全周に偏心配置<br>(Eccentricity) |
|        |                              |                           |                           |                                  |

表-4 PC鋼材配置間隔解析ケース

| 解析ケース  | 配置間隔: $\ell$  |
|--------|---------------|
| CASE ⑤ | Round - 50cm  |
| CASE ⑥ | Round - 100cm |
| CASE ⑦ | Round - 150cm |
| CASE ⑧ | Round - 200cm |

表-5 断面欠損の影響解析ケース

| 解析ケース  | 軸方向溝切削間隔: $\ell$     |
|--------|----------------------|
| CASE ⑨ | No prestress - 25cm  |
| CASE ⑩ | No prestress - 50cm  |
| CASE ⑪ | No prestress - 100cm |
| CASE ⑫ | No prestress - 200cm |

### (2) 解析結果及び考察

#### a. PC鋼材最適配置

ここでは、土圧、水圧等の外荷重を作用させた場合と外荷重下においてプレストレスを導入した場合について解析した。解析の結果、隅角部のみにPC鋼材を配置したケースについては、土圧及び周辺地盤の拘束を考慮した解析を行っても、やはり側壁中央部には引張応力が発生した。また、直線配置した場合と偏心配置した場合について検討すると、偏心配置によっても曲げ応力が周辺地盤の拘束により十分にプレストレスが導入されていないことから、その効果は直線配置の場合と殆ど変わらないという結果を得た。

これらの結果より、隅角部部分配置では、部材中央にはプレストレスが導入されないため、部材中央部を補強できない。また、偏心配置に起因する曲げモーメントによる土圧変形と逆方向の変形は、周辺地盤の拘束により非常に微小なものとなる。従って、直線に全周配置した方が優れていると考えられる。

#### b. PC鋼材の配置間隔

ボックスカルバート奥行き方向の応力分布の広がり状態を把握するために、底版、側壁、頂版の各中央断面について解析した。解析の結果、鋼材配置間隔が100cmまではほぼ均一にプレストレスは伝達され、150cmであっても、80%以上が伝達されることが明らかとなった。図-5には、頂版中央部における鋼材位置での発生応力に対する鋼材と鋼材の間点での発生応力の比を応力一様度と定義し、鋼材配置間隔と応力一様度の関係を示す。

#### c. 断面欠損の影響

溝切削時において最も応力集中が起こると考えられるのは、切削溝に隣接する断面である。ここでは下側隅角部と側壁中央部の応力状態を解析し、その発生応力と溝切削の関係把握した。その結果、いずれの部位においても50cmの切削間隔があれば、発生する応力は切削前とほぼ等しくなるため、断面欠損の影響はほとんど問題ないものと考えられる。図-6に側壁部の溝切削間隔と最大応力の関係を示す。

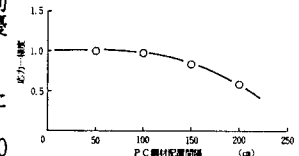


図-5 鋼材配置間隔と応力一様度の関係(頂版中央)

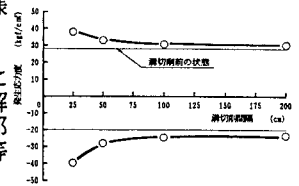


図-6 溝切削間隔と発生応力度の関係(側壁)

### 4. ま と め

モデル実験、FEM解析により確認された事項をまとめると次のとおりである。

- ① プレストレス導入レベルⅢ(コンクリートの許容曲げひびわれ幅までひびわれを許容する。所要緊張力20tf)では、コーナー部求心力に対する鉄筋補強は不要である。
- ② プレストレス導入によるコーナー部の破壊モードは、PC鋼材の内側へのはらみ出しによる曲げ破壊であると考えられる。
- ③ プレストレス分布はFEM解析により推定できる。
- ④ PC鋼材は土水圧等の外力に抵抗するように偏心配置するより、直線的に全周配置する方が施工性からみても有利である。
- ⑤ プレストレスがほぼ均一に導入される最大の奥行き方向のPC鋼材の配置間隔は、150cm程度である。
- ⑥ 溝切削を行った場合、周辺鉄筋の応力増加を伴わず安全に施工できる最小の奥行き方向溝間隔は、50cm程度である。

#### [参考文献]

- 1) 円谷、伊藤、本田、熊坂：プレストレスによるボックスラーメンの補強技術に関する基礎研究、第47回土木学会年次学術講演会、V p73 ~74 1992.
- 2) 円谷、伊藤、本田、熊坂：プレストレスによるボックスラーメンの補強技術に関する基礎研究、コンクリート工学年次論文報告集 VOL. 15 No.2 p829~834 1993.