

(53) 円形階段梁のプレストレス導入に伴う挙動

清水建設(株) 技術研究所 正会員 藤井忠義

1. はじめに

東京の世田谷区に立つ某校舎は1階から4階に至るカンチレバー形式の円形の内部階段を持つ。この円形階段は平面的に角度90度の範囲内にあり、90度で階高の半分の高さの踊り場に至り反対方向の90度に折り返す形で上下階を連絡する特殊な形式で、階段は2本の梁とスラブからなるダブルT形式でプレストレスが導入されている。このうち3階から3～4階の踊り場に至る90度の円形階段について中央2本の梁にプレストレスを導入した際の階段の構造的な挙動を計測し検討した。直線状の階段の梁にプレストレスを導入した例は多いが、円形階段にプレストレスを導入した例は珍しく、プレストレス導入により階段部、踊り場の梁、スラブに作用するプレストレスの状況が把握できた。この階段梁のプレストレス工事の施工状況、プレストレス工事について報告する。

2. 目的

円形階段の階段部、踊り場部分のプレストレス導入時の梁、スラブの挙動を調べるため梁、スラブ中にワイヤーストレインゲージを貼付した鉄筋を埋め込み、コンクリートを打設して一体化させ、プレストレス導入によるひずみ挙動を測定した。円形階段のコンクリートにプレストレスを適用する際の有効な技術資料を得ることを目的に計測を行った。

3. 円形階段の概要

位置 学校(RC造4階建)の内部階段(3階から3～4階踊り場までの90度の範囲)

構造 RC造:各階中間部に踊り場あり、また腰壁付き

規模 階段の半径(2本の中梁の中央位置まで)5.75m、階段の幅2.30m、中梁間隔1.075m

階段の全景および中梁の様子を写真-1に、階段の平面図、断面(展開)図を図-1、2に示す。

階段の中梁の断面は緊張端側85x30cm、固定端側70x30cm、中央部77.5x30cmである。梁の主筋は上端、下端とも3-D22でスタラップはD13-@100である。

スラブは厚さが15cmでスラブの配筋はダブル配筋で縦、横筋共にD13-15cmピッチである。

4. PC工事概要

円形階段の中梁の幅30cmの中心位置にPCケーブルを配置した。使用PCケーブル本数は各梁共に3ケーブルの計6ケーブルで図-1、2中に配置図を示す。

1) 使用PC鋼材

ストランド SWPR7A

1ケーブル: 7x ϕ 12.4mm 7本より

PC鋼材 断面積 92.9x7=650.3mm²

引張強度 160x7=1120kN (114.1t)

降伏強度 136x7=952kN (97.3t)

端部緊張力 0.85Py=82.7t

固定端緊張力 49.89t ($\mu=0.25$ $\lambda=0.004$)

2) 緊張工法



写真-1 階段全景

VSL工法：片引き緊張
 緊張管理方法： μ 管理法
 定着具 緊張端：アンカー
 ヘッドと楔
 固定端：定着板と
 圧着グリップ

3) コンクリート

設計基準強度 350kg/cm²
 緊張時 300kg/cm²以上

5. 計測

5. 1 計測目的

プレストレスの導入により円形階段の階段部、踊り場のコンクリートにどの位のプレストレスが導入されているかを把握する。

1) 梁のコンクリートひずみ

(1) 内周梁と外周梁
 のひずみの比較

(2) 緊張端側と固定
 端側のひずみの比較

(3) 梁とスラブの
 ひずみの比較

2) スラブのコンクリ
 ートのひずみ

(1) 内周側、外周側、
 梁間中央のスラブ
 のひずみの比較

(2) 緊張端側と固定
 端側のひずみの比較

5. 2 計測位置

コンクリートのひずみ測定位置は3階から4階踊り場に至る90度の円形階段の梁、スラブで、測定箇所を平面位置、断面位置を図-1 図-2 に併せて示す。

鉄筋の埋め込み位置は梁に対しては梁せい(85、70cm)の中間位置、スラブに対しては厚さ15cmの中央位置で梁上部、梁の中間部、梁の中心から35cmの内周側および外周側の5箇所である。

測定位置は緊張端側(3階)の床

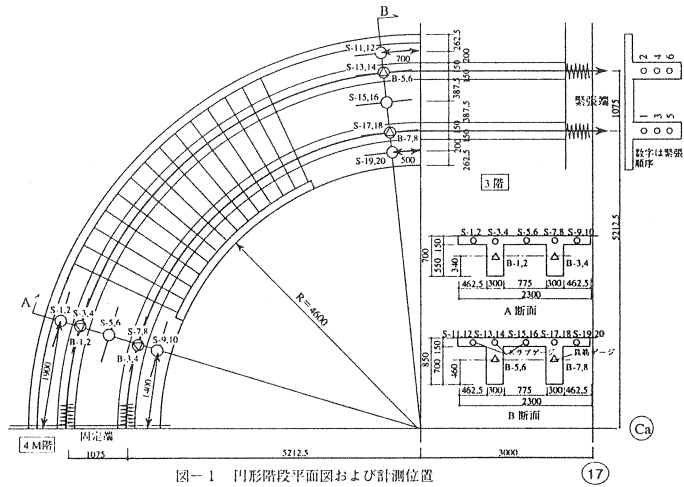


図-1 円形階段平面図および計測位置

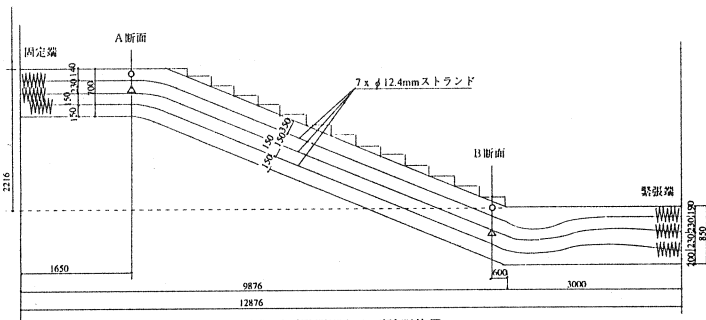


図-2 円形階段断面展開図および計測位置

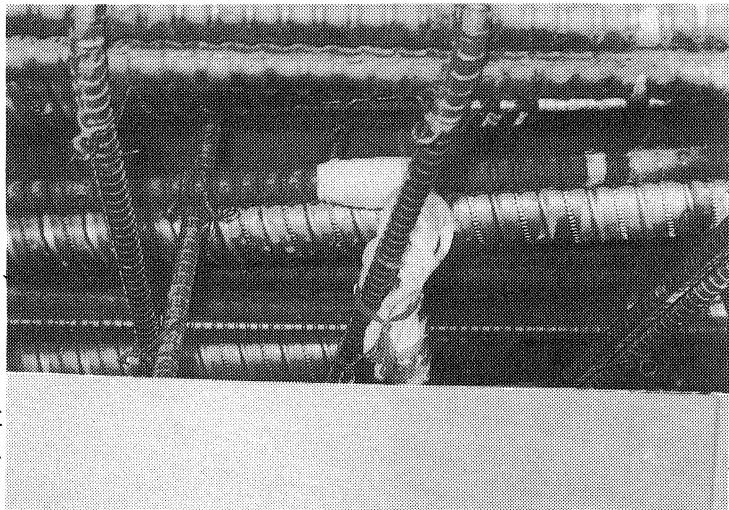


写真-2 梁の計測用鉄筋の取り付け状況

5. 4 計測時期

計測時期はプレストレスの導入前および6本のPCケーブルを1本ずつ緊張する毎に行った。各ケーブルの緊張力が0t、20t、40t、60t、80t、82.7tと定着直後の各時点で測定し、測定回数(計測ステップ)は計42回である。緊張は7月14日の1日で行い、図-1中の緊張順序に示すように2つの中梁のPCケーブルをまず内周側1ケーブル、次に外周側1ケーブル、次に内周側ケーブルと交互に上段から下段のケーブルの順に緊張し、計測した。

6. 計測結果

計測結果を表-1および図-3. 1~3. 6に示す。なおB-8の梁のゲージはコンクリート打設時に断線したためデータが得られなかった。図-3. 1~3. 6は梁およびスラブのひずみゲージの緊張によるひずみ変動を示すもので横軸には計測ステップ(各ケーブルの緊張力が0t、20t、40t、60t、80t、82.7tと定着直後で全部で42ステップ)を、縦軸には導入圧縮ひずみ(単位 $\mu=10^{-6}$)を示す。

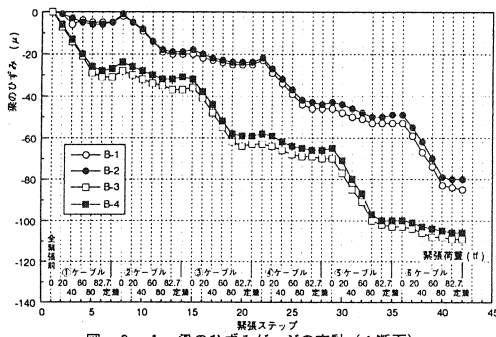


図-3. 1 梁のひずみゲージの変動 (A断面)

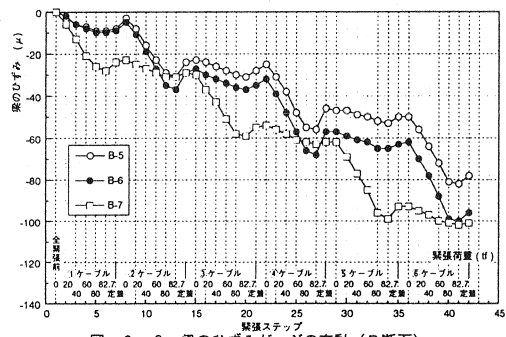


図-3. 2 梁のひずみゲージの変動 (B断面)

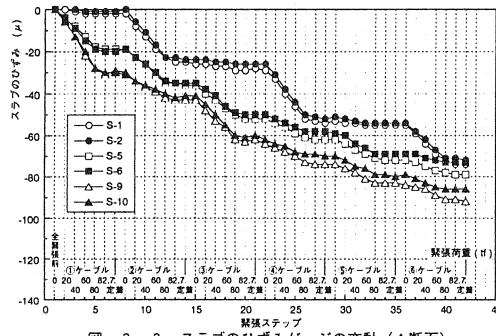


図-3. 3 スラブのひずみゲージの変動 (A断面)

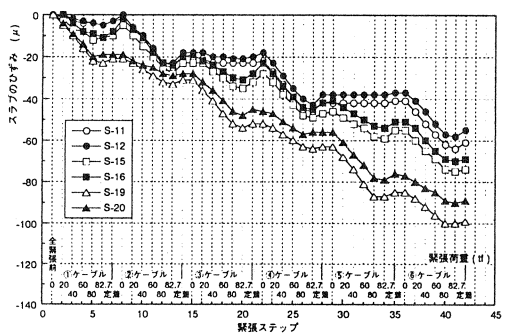


図-3. 4 スラブのひずみゲージの変動 (B断面)

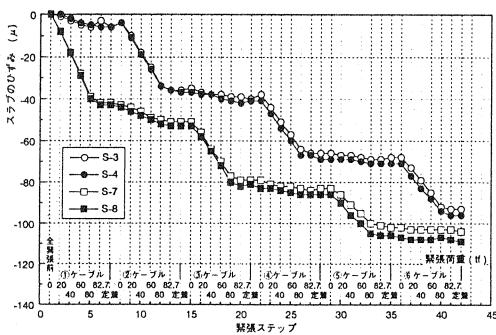


図-3. 5 スラブのひずみゲージの変動 (A断面: 梁上部)

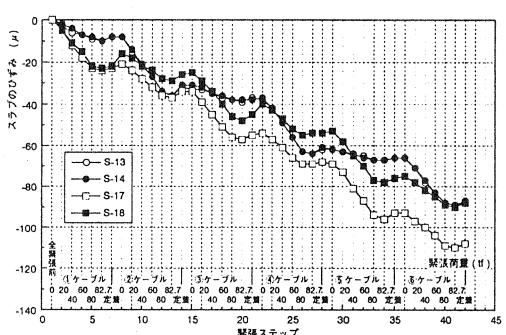


図-3. 6 スラブのひずみゲージの変動 (B断面: 梁上部)

6. 1 梁のひずみ

図-3. 1は固定端側の梁のひずみ変動を示す。B-1~2は外周梁、B-3~4は内周梁のひずみを示し、各ケーブルの緊張によるひずみの増加が顕著に見られ、定着時のストランドのすべり(セットロス)によるわずかなひずみの減少が見られる。内周梁では1、3、5ケーブルの緊張時にひずみの増加が大きく、外周梁では2、4、6ケーブルの緊張時にひずみの増加が大きい傾向が見られる。緊張後の導入ひずみの最大値はB-3の 109μ 、最小値はB-2の 80μ である。当然のことながら内周梁のゲージの圧縮ひずみが外周梁のひずみより大きくその差は約 30μ である。

図-3. 2は緊張端側の梁のひずみ変動を示し、図中のB-5~6は外周梁側のゲージ、B-7は内周梁側のゲージのひずみ変動を示す。緊張後の最大導入ひずみはB-7の 102μ で、最小ひずみはB-5の 82μ であり、内周梁のゲージの圧縮ひずみが外周梁のひずみより大きい。

6. 2 スラブのひずみ

図-3. 3は固定端側のスラブのひずみ変動を示すもので梁の場合と同様にプレストレス導入による圧縮ひずみの増加が見られる。S-1、S-2は外周梁の外側スラブのひずみを、S-5、S-6は2つの中梁の中間位置のスラブのひずみを、S-9、S-10は内周梁の内側スラブのひずみを示す。全ケーブル緊張後のひずみの最大値はS-9の 92μ で最小はS-2の 72μ であり、内側のスラブほど緊張による圧縮ひずみは大きい。

図-3. 4は緊張端側のスラブのひずみ変動を示すもので、図-3. 3と同様にプレストレスによる圧縮ひずみの増加が見られる。S-11、S-12は外周梁の外側スラブのひずみを、S-15、S-16は2つの梁の中間位置のスラブのひずみを、S-19、S-20は内周梁の内側スラブのひずみを示す。全ケーブル緊張後のひずみの最大値はS-19の 100μ で最小はS-12の 58μ であり、内側のスラブほど緊張による圧縮ひずみは大きい。

図-3. 5は固定端側の梁の上部位置のスラブのひずみを示すもので緊張による顕著な圧縮ひずみの増加が見られる。S-3、S-4は外周梁上部のひずみを、S-7、S-8は内周梁上部のひずみを示す。この中で最大はS-8の 109μ で最小はS-3の 93μ であり、内周側のスラブほど緊張による圧縮ひずみは大きい。これらの梁上部のスラブのひずみは同位置の梁のひずみとほぼ等しい。

図-3. 6は緊張端側の梁の上部位置のスラブのひずみを示し緊張による圧縮ひずみの増加が見られる。S-13、S-14は外周梁上部のひずみを、S-17、S-18は内周梁上部のひずみを示す。この中で最大はS-17で 110μ で最小はS-13、S-14の 89μ であり、内周側のスラブほど緊張による圧縮ひずみは大きく外周側のスラブのひずみより約 20μ ほど大きい。またこれらのスラブのひずみは同位置の梁のひずみとほぼ等しい。

7. 考察

7. 1 円形階段の梁のコンクリートの導入ひずみと応力

図-4には今回の計測で得られたダブルT形梁断面を持つ円形階段の各部の梁、スラブのひずみの断面分布を示す。1ケーブル緊張するごとに圧縮ひずみは増加を示し、プレストレス導入により梁に生じた圧縮ひずみの最大値は大略 $80\sim 100\mu$ である。コンクリートのヤング係数を $F_c=300\text{kg/cm}^2$ として建築学会PC規準より求めると、 $E=2.7\times 10^5\text{kg/cm}^2$ となりこれより求めた最大応力は $\sigma=\epsilon\times E=22\sim 27\text{kg/cm}^2$ となる。

導入される圧縮ひずみ(応力)は全体として内周梁の場合に 100μ (27kg/cm^2)と大きく、外周梁は 80μ (22kg/cm^2)と小さい。また緊張端側のひずみが固定端側よりやや大きい。

7. 2 円形階段のスラブのコンクリートの導入ひずみと応力

梁上部位置のスラブのひずみは $90\sim 100\mu$ と梁のひずみとほぼ同じであるが、梁上部以外の位置のスラブのひずみは $60\sim 90\mu$ とこれより小さい。また内周側のスラブのひずみは外周側のスラブのひずみより大きい。

緊張端側と固定端側のスラブのひずみを比較すると緊張端側のプレストレスが固定端側のプレストレスより大きいにも拘わらず余り差が無い。これは緊張端側のダブルT形梁の断面積($7,650\text{cm}^2$)が固定端側の梁

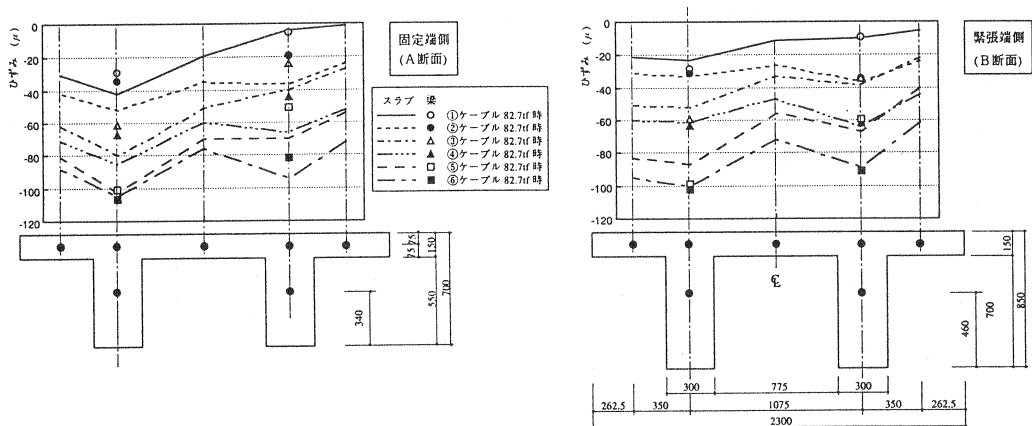


図-4 断面のひずみ分布

の断面積 (6,750cm²) より15%ほど大きいと思われる。コンクリートのヤング係数を $E = 2.7 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ としてコンクリートスラブに生じた圧縮ひずみ (60~100 μ) から導入されたプレストレスを計算すると圧縮応力は $\sigma = \epsilon \times E = 16 \sim 27 \text{kg/cm}^2$ となる。

8. 結論

今回の計測を通して以下の事がわかった。

- 1) 円形階段のコンクリートはプレストレス導入により圧縮ひずみを生じる。導入される圧縮ひずみは梁が80~100 μ 、スラブが60~100 μ であり梁の導入ひずみがスラブより大きい。また、内周側の梁、スラブのひずみは外周側の梁、スラブのひずみより大きい。
- 2) プレストレスにより梁に導入される最大圧縮ひずみは102 μ であり、コンクリートのヤング係数を $E = 2.7 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$ として求めた圧縮応力は 27kg/cm²となる。
- 3) 固定端側と緊張端側のひずみを比較すると梁では緊張端側がやや大きい、スラブではほぼ等しい。
- 4) スラブのひずみについては梁上部の位置のひずみはその他の位置のスラブのひずみより大きい。
- 5) コンクリートのひび割れ、たわみは施工中および支保工撤去後も全く見られず、プレストレスの効果があると判断される。

結論として今回の円形階段のプレストレス導入により梁、スラブには 16~27kg/cm² の圧縮応力が導入されており、内周側には外周側より約1~2割大きい圧縮応力が導入されている事がわかった。

謝辞

今回の計測に際しては現場の豊島工事長および前田副工事長の協力を得た。また緊張工事に当たってはフドウ建研(株)、計測およびデータ整理に当たっては当時技術研究研の菅原勝氏の助力を得た。紙上を借りて深く感謝の意を表わす。

参考文献

藤井忠義、プレストレスによるコンクリート壁のひび割れ制御、PC技術大会論文集、第4回、1994年