

交番載荷実験に基づくPC箱桁の復元力特性の提案

九州大学大学院助手 正会員 ○矢葺 亘 オリエンタル建設(株) 学生会員 浦川 洋介
九州大学大学院教授 フェロー 大塚 久哲 (株) 構造計画研究所 正会員 石原 眞一

1. 目的

橋梁の性能規定型設計に向け、上部構造非線形性を考慮した照査・設計のための適切なPC部材の履歴モデルの整備が急務となっている。現在PC部材の履歴モデルは、橋脚や建築における柱・梁部材のような対称断面に対しては検討がなされているが、塑性率が大きい領域での挙動を精度良く表現できておらず、またPC箱桁のように鋼材が偏心配置され、かつ桁断面が非対称な部材に対する履歴モデルは提案されていない。

本研究では、PC箱桁の履歴復元力特性を把握するために、正負交番載荷実験を行い、耐震性の検討に必要な動的解析に有効なPC箱桁履歴モデルを提案、検証した。

2. 交番載荷実験

供試体は1室箱桁断面形状とし、一般的な実橋梁の1/8.5の外形寸法で設計した。使用材料として、 $\sigma_{ck} = 40\text{N/mm}^2$ のコンクリートとSD295の鉄筋を用いた。PC鋼材は現在PC箱桁橋で一般に使用されているPC鋼より線SWPR7A1S15.2を用いた。橋軸方向載荷実験においては、プレストレス導入量、PC鋼材の偏心量等をパラメータとし、エネルギー吸収能力、等価減衰定数、残留変位などに着目して検討した。表-1に検討ケース、図-1に標準供試体の断面形状を示す。載荷方法は、単純曲げ載荷(2点載荷)の正負交番漸増載荷とした。

3. 実験結果

図-2に橋軸方向載荷実験の曲げモーメント-曲率($M-\phi$)関係および道路橋示方書V耐震設計編(以下、道示V)に規定された手法により算出した骨格曲線を示す。PC鋼材の偏心によって正負の耐力が増減し、除荷曲線も押し引き非対称な形状となることが確認できる。 $M-\phi$ 骨格曲線に関しては、道示Vに規定される手法でほぼ再現できることが確認できたが、コンクリートの終局圧縮ひずみを $\epsilon_{cu} = 2000\mu$ とした場合、ほとんどの供試体で実験値がこの終局を上回る結果となった。

4. PC箱桁復元力モデルの提案

橋軸方向載荷実験で得られた結果を基にPC箱桁を対象とした復元力モデルを提案する。

既存のモデルでは、PC部材の第3剛性域における除荷時の剛性変化を適切に表現できず、またPC鋼材の偏心配置や断面形状の非対称性を考慮していない。

非線形動的解析を行う上で重要な要素の一つである等価減衰定数(h)に着目し、PC鋼材軸力配置供試体でプレストレス量の異なる4供試体(L10, L02, L11, L05), および同プレストレス量(3.6MPa)でPC鋼材配置の異なる偏心配置供試体についてその等価減衰定数を求めた。プレストレス量が多いほど除荷時の原点指向性が強まることから等価減衰定数は小さくなる。また、等価減衰定数はプレストレス量の影響が支配的であるが、プレストレス量が同じであっても、PC鋼材の偏心によって若干異なってくる。このことから、ここでは等価減衰定数をプレストレス量 P_p 、塑性率 μ および終局耐力比 γ (偏心度を表すパラメータ)の関数として式(1)で規定する。図-3に各供試体の等価減衰定数および提案式を示す。

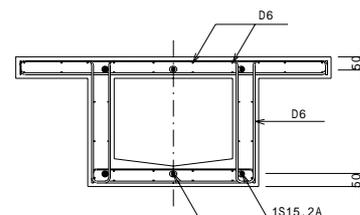


図-1 供試体断面図
(標準供試体 : L02)

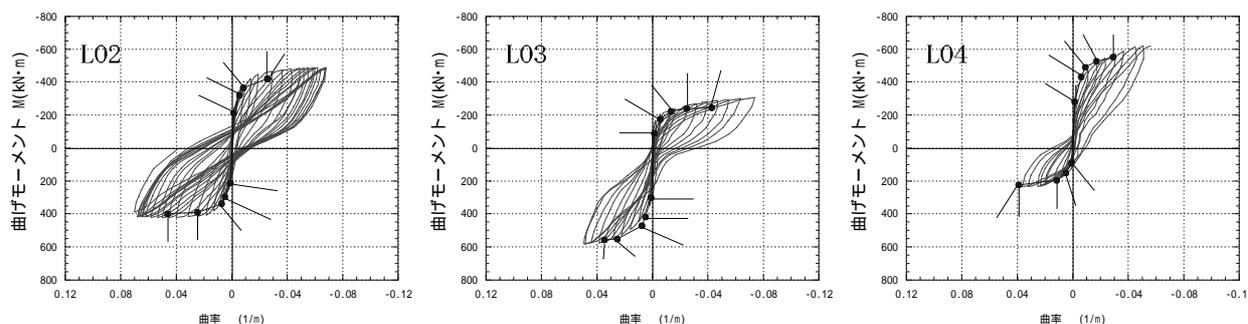


図-2 曲げモーメント-曲率関係 ①ひびわれ②鉄筋降伏③PC弾性限界④PC降伏⑤コンクリート圧壊

キーワード：プレストレストコンクリート、履歴復元力特性、交番載荷実験

連絡先：〒812-8581 福岡市東区箱崎6-10-1 九州大学大学院建設デザイン部門 TEL&FAX：092-642-3268

$$h = A \cdot (1 - e^{-B \cdot \mu}) \quad \dots \dots \dots (1)$$

ここで、

$$A = (-0.0275 \cdot P_p + 0.256) \cdot g(\gamma)$$

$$g(\gamma) = 0.5773 \cdot \gamma + 0.4518$$

$$B = -0.0417 \cdot P_p + 0.800$$

本研究ではPC部材の復元力特性に影響を及ぼすプレストレス量(Pp)、塑性率(μ)および鋼材の偏心度を表す指標として終局耐力比(γ)をパラメータとした。PC部材の復元力特性の特徴である除荷時の剛性の変化を表現するために、各供試体の実験結果からループ形状が安定してくる塑性率4~10程度の除荷曲線を無次元化して抽出した。PC鋼材軸力配置供試体の除荷曲線形状は、押し引きでほぼ対称でM=0までは除荷剛性が緩やかに低下することにより、RC部材に比べ原点付近を指向し、その後は最大経験点を直線で指向する。一方、PC鋼材偏心配置供試体では、耐力が大きい方からの除荷曲線は原点指向性が強く残留曲率が小さくなるのに対し、耐力が小さい方からの除荷曲線は膨らみが大きく残留曲率も大きくなるため、押し引きの除荷曲線形状が異なり、くびれが生じる。

このような特徴を踏まえ、それぞれの形状を表現し得るような除荷曲線関数を規定した(式(2))。Y=C・y₁'+(1-C)・y₂'

$$Y = C \cdot y_1' + (1 - C) \cdot y_2' \quad \dots \dots (2)$$

ここで、

$$y_1' = \sin(-1.5\pi \cdot x^{p'})$$

$$y_2' = 1 - e^{-q'x}$$

p', q'は除荷曲線の形状を決定する係数で、終局耐力比γによって変化し、偏心供試体特有のくびれを表現する。式中の2つの関数を分配を決定する分配比Cは、押し引きの除荷曲線で囲まれる面積ΔWと一般的な等価減衰定数の式(3)との関係から導かれる。

$$h = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{\Delta W}{W} \quad \dots \dots \dots (3)$$

これにより除荷曲線が決定される。また、除荷曲線の適用範囲は除荷開始点から最大経験点とした。図-4に除荷曲線の一例を、図-5に提案モデルの概念図を示す。

以上の履歴則に基づき得られた提案モデルと実験結果の比較を図-6に示す。偏心供試体に対しても除荷時のくびれをほぼ表現できており、等価減衰定数および残留曲率も良く一致した。よって本提案モデルの妥当性が確認できた。

5. まとめ

- ①プレストレス導入量、鋼材の偏心度および塑性率μにより等価減衰定数hを規定した。
- ②規定した等価減衰定数によりループの膨らみなどの形状を定め、除荷曲線を関数として表現した。
- ③軸力配置供試体の履歴ループは原点对称な形状を示したが、偏心配置供試体では、除荷時の曲線にくびれが生じ押し引きで非対称なループ形状を示した。このように偏心度により異なるループの形状を表現できるような除荷曲線関数を提案した。

参考文献

1) 大塚・岡田他：PC箱桁の復元力特性に関する交番載荷実験，プレストレスコンクリート，vol. 42, No. 2, pp. 90-97, 2000. 3
 2) 大塚・岡田他：交番載荷実験に基づくPC箱桁の復元力特性の提案，プレストレスコンクリート，vol. 42, No. 5, pp. 18-24, 2000. 9
 3) 日本道路協会：道路橋示方書V耐震設計編，1996年12月

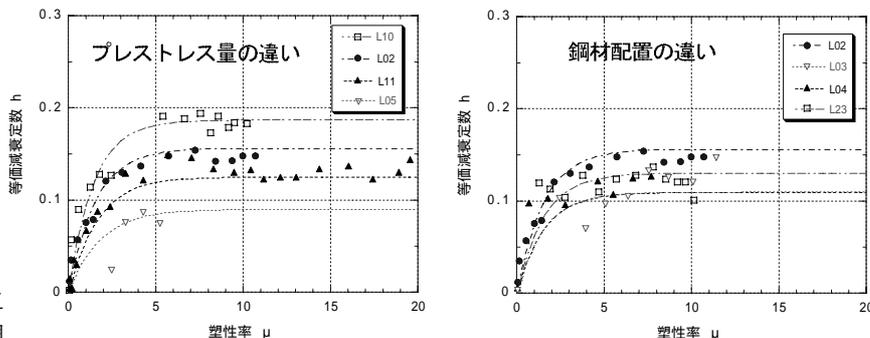


図-3 各供試体の等価減衰定数および提案式

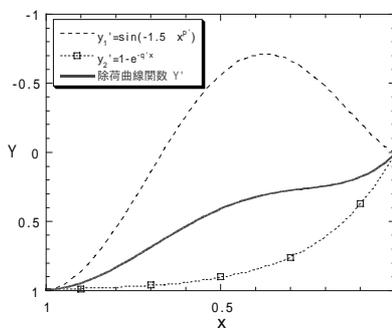


図-4 除荷曲線関数(偏心配置)

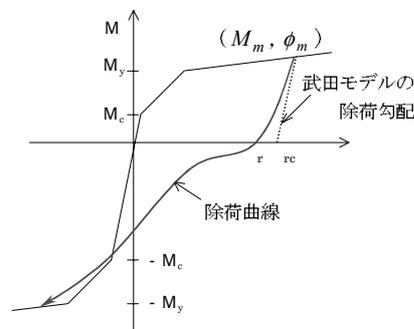


図-5 履歴ループの概念図

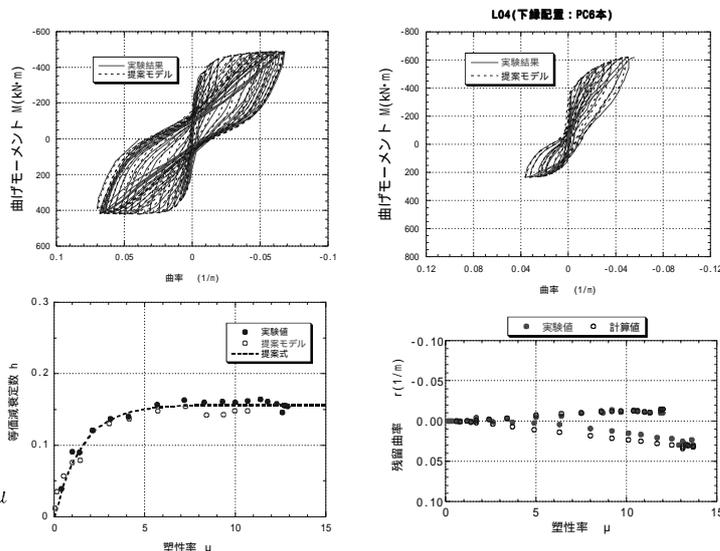


図-6 実験値と提案モデルの比較 (上左, 下左, 下右: L02 標準供試体, 上右: L04 下縁配置)