

(4) 付着のないPC鋼材を配置したPC桁の曲げ破壊挙動に関する解析的研究

東日本旅客鉄道(株)	東京工事事務所	○木野 淳一
同	上	金子 育代
同	上	岩佐 高吉
東日本旅客鉄道(株)	建設工事部	正会員 小林 薫

1. はじめに

外ケーブルを用いたPC構造は、桁軽量化や施工性の向上を目的とした新設構造物の他、在来構造物の補修・補強などに適用する工法として、そのニーズは年々高まってきている。しかし、外ケーブル方式は従来用いられている、内ケーブルのボンド方式のPC構造と異なり、PC鋼材とコンクリートの間には平面保持の仮定が成り立たないため、終局曲げ耐力算定については概略的なものが標準となっているのが現状である。外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準(案)⁽¹⁾では、国内外の関連基準における外ケーブル構造の設計の現状を紹介しているが、外ケーブルの張力増分を仮定したものや外ケーブル位置変化を無視したものなどであり、厳密解を求めるには非線形解析を行う必要がある、と記述されている場合も少なくない。

本報告では、外ケーブル方式のはりについて、材料非線形及び幾何学的非線形を考慮した非線形骨組解析、有限要素解析を行い、実験結果と比較することで、解析モデルの妥当性、部材挙動等について検討を行ったものである。

2. 実験方法及び結果⁽²⁾

実験に用いたはり試験体の概要を図1に示す。試験体は主鉄筋を用いない外ケーブルPCはりで、試験時のコンクリート圧縮強度は 56.7N/mm^2 であった。導入プレストレス力は、はり上縁の引張ひずみによりひび割れが生じないように、 260kN とした。試験体のPC鋼材配置は直線とし、デビエーターを設けない構造とした。

荷重は図1に示すとおり、スパン 4000mm 、荷重載荷点の間隔を 400mm とし、2点集中荷重で静的に行った。測定項目としては、はり上縁のひずみ、変位、外ケーブルのひずみ、変位等である。

実験は、純曲げ区間に曲げひび割れが発生すると急激に剛性が低下し、さらに荷重を増加させると上縁より 50mm 付近までひび割れが伸展した。その後、圧縮縁のコンクリートが圧壊し、荷重が低下し曲げ破壊した。

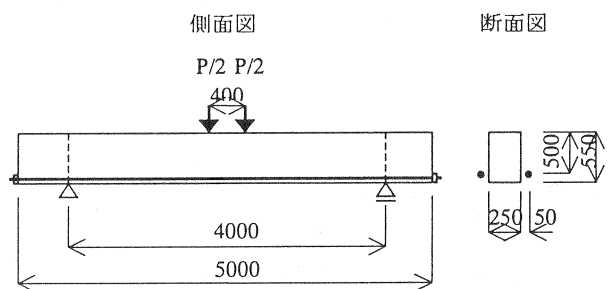


図1 試験体概要図

(単位:mm)

3. 解析概要

3.1 非線形骨組解析

PCはりの骨組モデルを図2に示す。本解析においては、コンクリート要素については材軸直交分割要

素を、PC鋼材についてはトラス要素を用いた。また、PCケーブルは図心からの偏心量にあわせて配置し、はり-PC鋼材接続要素、および支点から材端までのPC鋼材定着部のコンクリート要素は剛として配置することで、はりの変形に伴うPC鋼材の挙動を表すモデルとなっている。

骨組モデルは2ケースを検討した。Case 1はスパン間のコンクリート要素を全て材軸直交分割要素でモデル化したものであり、Case 2は純曲げ区間のみ材軸直交分割モデルとし、せん断スパン領域を弾性はり要素としたものである。このようなモデルを検討したのは、主鉄筋を持たないPC構造の場合には卓越した1つのひび割れに非線形挙動が集中するため、非純曲げ区間の部材を一つの弾性体として扱う簡略なモデルでの妥当性を検討するためである。

材料モデルについては、コンクリートはりのひび割れ発生による剛性低下率を曲げモーメント(M) - 曲率(ϕ)の関係として表し、PCケーブルについては発生応力が弾性領域での挙動にとどまるため、弾性体として取り扱った。また、材軸直交分割要素の剛性低下については、主鉄筋がないために理論的に求めることが困難であることから、今回は実験結果から得られたコンクリート上縁の圧縮ひずみと、ひび割れ先端を中立軸と仮定したものをから曲率 ϕ を求め、トリリニアモデルでモデル化した。

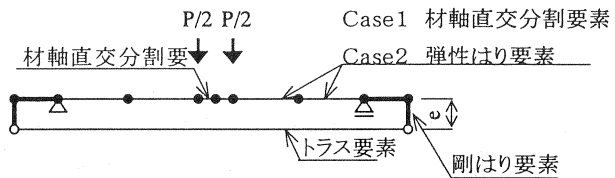


図2 非線形骨組モデル

3.2 非線形有限要素解析モデル

有限要素解析は、コンクリートを8節点平面要素、PC鋼棒をトラス要素として、対称性を利用して試験体の1/2をモデル化した。実験ではデビエーターを用いない構造であったため、モデルのトラス要素と平面要素の接続点は定着部のみとし、対称軸上では別節点をもつローラー結合とした。

有限要素解析モデルを図3に、使用したコンクリート材料モデルを図4に示す。コンクリート材料モデルの強度特性については、実験から求められた圧縮・引張強度を用いた。

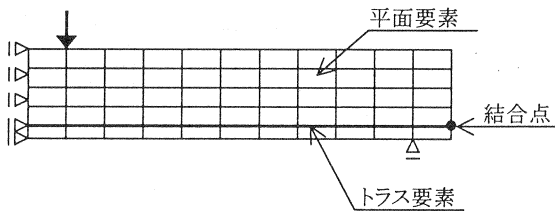


図3 有限要素モデル

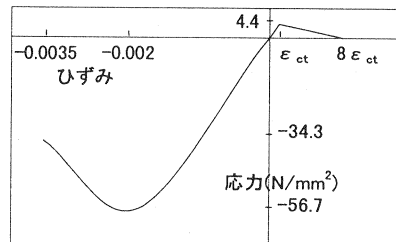


図4 材料モデル

4. 解析結果と実験値の比較

4.1 非線形骨組解析モデルの比較

実験及び非線形骨組解析Case 1、Case 2より求められた曲げモーメント-曲率関係、荷重-変

位関係を図5、6に示す。M- ϕ については概ね実験値と一致しており、モデルの妥当性を示している。しかし、P- δ については、Case 2においては概ね実験値と一致するものの、Case 1においてはひび割れ後の剛性が実験値よりも小さく評価されている。この原因としては、Case 1において純曲げ付近でのひび割れ発生後の挙動において、その区間以外の部分においてもひび割れに伴う剛性低下が発生しており、実験による実際の部材挙動とは異なっていることが挙げられる。実験では、図7のようにひび割れ断面から支点まではほぼ直線的な変位挙動を示しており、主鉄筋が存在しないことにより試験体はひび割れ発生断面を中心としてほぼ剛体としての挙動をしていることがわかる。このため、主鉄筋のないPCはりの解析においては、卓越したひび割れが発生すると考えられる断面区間以外についてのモデル化を簡略的に1本の弾性部材、あるいは剛部材としずって行くと考えられる。

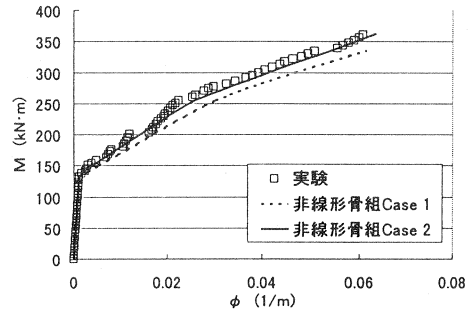


図5 M- ϕ 関係図

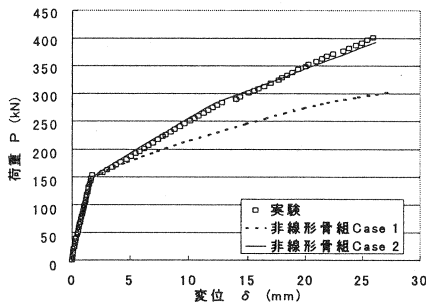


図6 P- δ 関係図

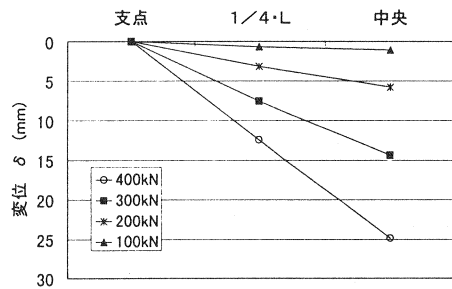


図7 試験体変形挙動

4.2 非線形骨組解析と有限要素法の比較

図8に非線形骨組解析(Case 2)と有限要素法によるはり中央での荷重-変位曲線を示す。

解析結果は概ね実験結果と一致している。しかし、有限要素法による結果が若干剛性が高く出る傾向にあった。この原因として考えられるのは、コンクリート平面要素の分割数によりひび割れ発生状況に差異

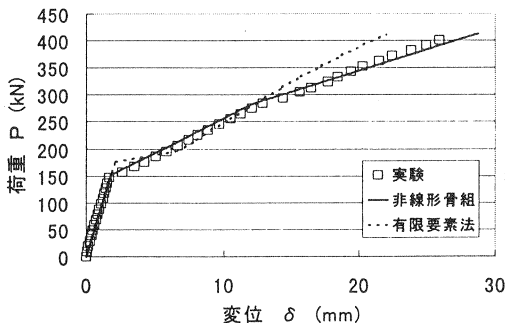


図8 P- δ による比較

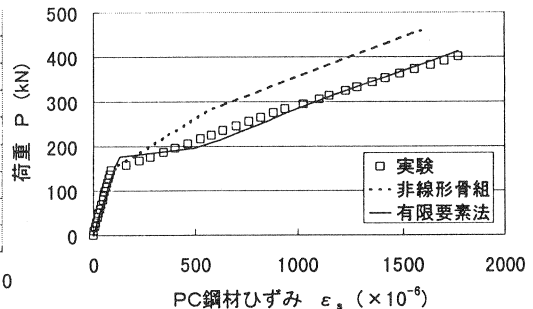


図9 P- ϵ_s による比較

が生じることによる影響によるものが考えられる。

また、はり中央における荷重-PC鋼材ひずみ(増分)についての関係を図9に示す。PC鋼材のひずみ増分については、有限要素法ではほぼ一致する結果となった。しかし、非線形骨組解析では有限要素法と同一の荷重時において400~500 μ 程度の差が生じた。

この原因として考えられるのは、非線形骨組解析では図心位置のみではり部材をモデル化していることが考えられる。試験体のひび割れは、発生直後から図心位置を超えて発生しており、そのために図心位置での試験体長さはひび割れの幅の長さ分伸びる方向にある。しかし、解析では部材端の回転の影響によるPC鋼材の伸びだけが反映されるため、このような結果となることが考えられる。

5. まとめ

コンクリートと付着を有しない外ケーブル方式のはり部材の解析を非線形骨組解析、有限要素法により行った。本検討による結果を以下にまとめる。

- (1) 非線形骨組解析、有限要素法により外ケーブル方式のPCはり試験体の解析を行ったが、全般的に良好な結果を得ることができた。
- (2) 非線形骨組解析において主鉄筋を用いないPCけた構造の解析を行う場合、卓越したひび割れが発生すると考えられる領域を除いては弾性部材、または剛部材を用いて解析をするのが適切である。
- (3) 非線形骨組解析において、 $M-\phi$ を実験結果から設定することで、PCはりの挙動をほぼ正確に解析することができた。
- (4) PC鋼材のひずみ増分については、有限要素法での解析結果がほぼ実験値と一致した。

6. 参考文献

- (1) 外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法設計施工基準(案):(社)プレストレストコンクリート技術協会:平成8年3月
- (2) 岩佐高吉、木野淳一、小林薫、津吉毅:PC鋼材の配置方法、付着性状を変えたPC桁の破壊実験:第9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:平成11年10月