

砂緩衝材を有する PC はりの耐衝撃性能に関する解析的研究

防衛大学校 学生会員 松岡敬介 正会員 山本佳士 正会員 黒田一郎 正会員 古屋信明

1. はじめに

著者らは、これまでに砂緩衝材を介して衝撃荷重を受ける PC 梁のせん断破壊挙動に着目して、実験による研究を行ってきた。本研究では、これまでに実験より得られた知見を検証することを目的として、剛体ばねモデル（以下 RBSM）を用いて PC 梁の衝撃応答解析を試みた。まず、静的載荷実験を対象として解析を行い、解析手法および材料モデルの妥当性を検証した。さらに、静的解析と同様の材料モデルを用いたケースおよびひずみ速度効果を考慮したケースで衝撃応答解析を行い、ひずみ速度効果の影響について考察を行った。

2. 解析手法

2.1 コンクリートのモデル化

コンクリートのモデルとして RBSM を用いた RBSM は、各要素を剛体として扱い、要素間に分布するバネのエネルギーを評価することにより材料の力学的挙動を追跡していく手法であり、要素間のバネに材料非線形特性を持たせることにより、コンクリートのひび割れの発生・進展挙動を表現することができる。本研究では、ひび割れの要素依存性を低減させるために、Voronoi 多角形要素を適用した¹⁾。

2.2 PC 鋼線および鉄筋のモデル化

PC 鋼線および鉄筋のモデルとして梁要素を用いた。それぞれの梁要素は、各節点においてリンク要素を介してコンクリート要素に結合される。鉄筋とコンクリート間の付着すべりは、リンク要素で表現した¹⁾。

2.3 材料モデル

コンクリートの圧縮挙動および引張挙動を垂直バネで、せん断すべり挙動をせん断バネでモデル化している。圧縮領域では Popovics 式に従って応力が増加し、圧縮強度に達すると破壊エネルギーを考慮して軟化させるモデルを用いた。引張領域では引張強度まで線形弾性とし、1/4モデルに従って応力を低減させた。ここでも破壊エネルギーを考慮し軟化勾配を変化させるモデルを用いた。せん断バネはモール・クーロン型の破壊基準を用い、降伏後は塑性流れ則に従い降伏曲面上を移動するものとした¹⁾。また、ひび割れ開口に伴うせん断剛性の低下を表現するために、ひび割れ幅に応じてせん断剛性を低下させた。PC 鋼線および鉄筋の応力 - ひずみ関係は、トリリニア型およびバイリニア型でモデル化した。

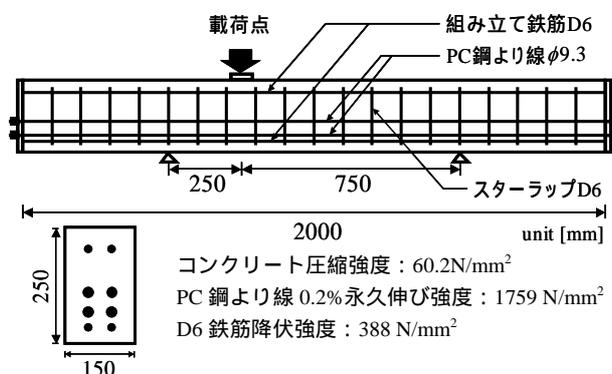


図 - 1 実験供試体寸法および材料諸元

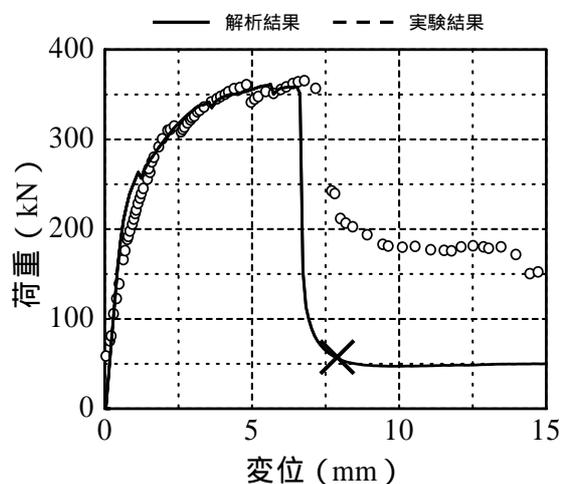


図 - 2 荷重 - 変位関係

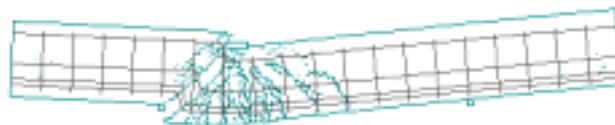


図 - 3 ひび割れ図

キーワード 剛体ばねモデル, 衝撃応答解析, 破壊モード, プレストレストコンクリート, 砂緩衝材

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 TEL:046-841-3810(内線 3517) FAX: 046-844-5913

2.4 解析の手順

プレストレスは、PC鋼線に初期ひずみを導入することでモデル化した。初期ひずみ導入解析で得られた要素の変位および各非線形バネの応力ひずみ履歴データを、静的解析および衝撃応答解析にそのまま受け渡し、解析を行っている。なお、本研究では衝撃応答解析の時間積分に中心差分法を用いた。

3. PC はりの静的載荷解析および衝撃応答解析

3.1 実験概要

解析対象とする実験は、著者らが行った、PC梁の静的載荷実験および砂緩衝材を介した重錘落下衝突実験（重錘質量 0.3t）である²⁾。供試体寸法、載荷条件および材料諸元を図-1に示す。詳細は文献2)を参照されたい。

3.2 静的載荷解析

図-2に解析および実験により得られた、載荷点の荷重-変位関係を示す。解析結果は、実験により得られた最大荷重および最大荷重時の変位をおおむねシミュレートしていることがわかる。図-3に図-2中の×印に対応する、解析により得られたひび割れ図を示す。実験でも、解析結果と同様にせん断ひび割れが局所化し破壊に至っている。RBSMで適切な材料モデルを仮定することによって、PC梁のせん断破壊挙動を精度よく評価できることが分かった。

3.3 衝撃応答解析

重錘落下実験で得られた、砂緩衝材とPC梁の間のロードセルにより計測された荷重波形を図-4に示す。図-4(a)、(b)は、重錘落下高さが、それぞれ4mおよび8mの時の荷重波形である。この荷重波形を入力することにより衝撃応答解析を行った。図-5にPC梁の載荷点下縁の変位-時間関係を示す。図-5(a)の解析はひずみ速度効果を考慮していないが、実験による変位応答波形をおおむね評価している。図-5(b)には、ひずみ速度効果を考慮、非考慮の両ケースの解析結果と実験結果を示している。なお、ひずみ速度効果は、コンクリートに対して藤掛らの提案式を、鋼材に対しては高橋の式を適用した³⁾。ひずみ速度効果非考慮の解析結果に着目すると、6ms付近から急激に変位が進展し破壊に至っていることが分かる。ひずみ速度効果を考慮することにより実験より得られた変位応答波形をおおむね評価している。以上のことより、ひずみ速度効果の影響は本研究の範囲内において無視できないものであることが分かった。

4. まとめ

静的載荷において、最大荷重、変形および破壊モードを精度良く評価することができる解析手法を用いて衝撃応答解析を行った。本研究の範囲内においてひずみ速度効果の影響は顕著であり、PC梁の耐衝撃性能を解析的に評価するには、ひずみ速度効果の適切なモデル化が必要であることがわかった。

参考文献

- 1) 斉藤成彦ほか：剛体-バネモデルを用いた軸方向圧縮力を受けるRC梁のせん断破壊挙動の数値解析，コンクリート工学論文集，Vol.12，No.2，pp.71-81，2001
- 2) 畑野真吾ほか：支点近傍に緩衝材を介した衝撃荷重を受けるPC梁のせん断破壊挙動，コンクリート工学論文集，Vol.16，No.3，pp.49-58，2005
- 3) 矢川元基ほか：構造工学ハンドブック，丸善，2004

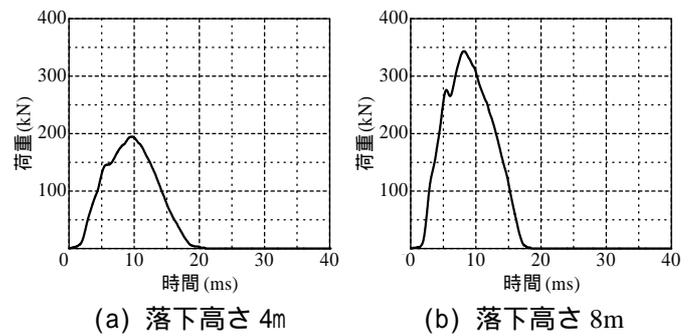


図-4 荷重-時間関係

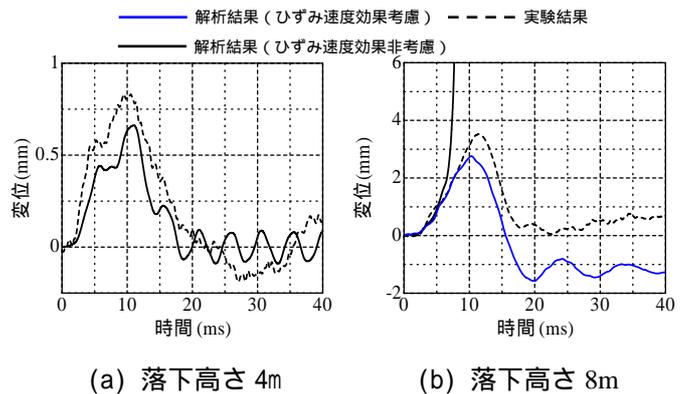


図-5 変位-時間関係