

I-B 149

落橋防止連結板模型の高速載荷実験シミュレーション

防衛大学校 土木工学科 正会員 園田佳巨 (株)宮地鐵工所 正会員 佐藤浩明
同 上 正会員 石川信隆 九州大学建設都市工学科 正会員 彦坂 熙

1. 緒言

兵庫県南部地震において、落橋防止連結板の破壊にともなう橋桁の落下事故が数多く見られ、その耐震性能に関する再検討および装置自体の改良の必要性が明らかとなった。連結板装置の耐震性能を正確に評価するためには、連結ピンとの接触部における変形の局所的な進展や高速変形にともなう材料特性の変化等も考慮に入れた検討が必要である¹⁾。本研究は、連結板の縮尺模型による高速載荷実験のシミュレーションを、ひずみ速度の影響を考慮した弾塑性解析を用いて行い、解析的な検討を試みた。

2. 解析手法

本研究では、図-1に示すような実際の連結板の片側半分をモデル化した試験体を用いた高速載荷実験のシミュレーションを行う。解析モデルは、試験体の形状および載荷形式の対称性を考慮して、図-2に示すようなボルトによる定着部から先端の半分のみを対象に、三角形1次要素による要素分割を行った。境界条件はA点を固定とし、AB上の節点はY軸方向変位を拘束、CDおよびEA上の節点はX軸方向変位を拘束し、ピンと連結板の接触位置の節点には載荷速度に応じた強制変位をy軸方向に与えた。また、ひずみ速度効果の影響として、高橋ら²⁾の一軸高速引張試験結果から誘導した線形の相当応力-相当塑性ひずみ関係を用いる場合と、n乗硬化式にひずみ速度による降伏点変化率、引張強度変化率等を考慮した場合の2ケースに関して解析を行った。図-3は、これら2種類の関係を示したもので、実線が線形の硬化式を、破線がn乗硬化式をそれぞれ示している。なお、本解析では平面応力の仮定のもとにMisesの降伏基準による以下の弾塑性構成式を用いた。

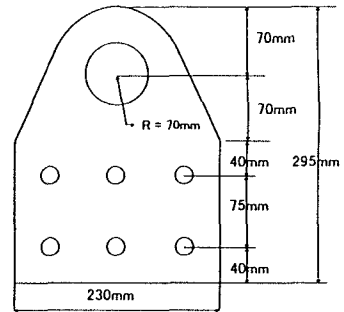


図-1 連結板試験体

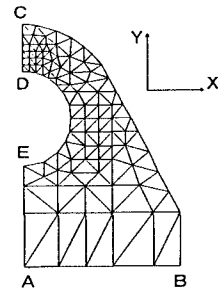


図-2 解析モデル

$$d\sigma = D^{ep} d\varepsilon \quad (1)$$

ここに、 $D^{ep} = D^e - D^p$: 弾塑性剛性行列

$$D^e = \frac{E}{1-\nu^2} \begin{bmatrix} 1 & \nu & 0 \\ \nu & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{1-\nu}{2} \end{bmatrix} \quad (2a) \quad D^p = \frac{1}{S} \begin{bmatrix} s_1^2 & s_1 s_2 & s_1 s_3 \\ s_1 s_2 & s_2^2 & s_2 s_3 \\ s_1 s_3 & s_2 s_3 & s_3^2 \end{bmatrix} \quad (2b)$$

$$\text{ただし、} s_1 = \frac{E}{(1-\nu^2)} (s_x + \nu s_y), \quad s_2 = \frac{E}{(1-\nu^2)} (s_y + \nu s_x),$$

$$s_3 = \tau_{xy}, \quad s_x, s_y, s_{xy} : \text{偏差応力成分} \quad \bar{\sigma} : \text{相当応力}$$

$$S = \frac{4-\eta}{9} \bar{\sigma} H' + s_1 s_x + s_2 s_y + 2 s_3 s_{xy} \quad H' = \frac{d\bar{\sigma}}{d\varepsilon^p} : \text{硬化係数}$$

解析の手順としては、連結ピンが接触すると想定した節点に強制変位増分を与え、各要素毎に相当塑性ひずみ増分速度に応じた硬化式を選択したうえで、 $r = \min$

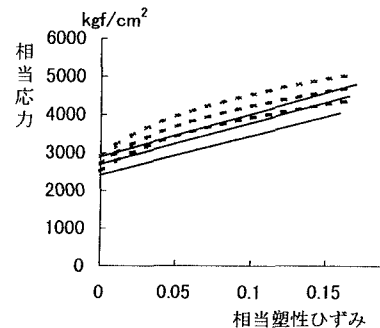


図-3 鋼材の相当応力-相当塑性ひずみ関係

法により各ステップの節点変位増分の制御および節点座標の更新を行いながら計算を行った。

3. 数値計算例および考察

図-4は、直径40mmのピンを用いた静的載荷における荷重-連結板変位の関係について、実験結果と計算結果を比較したものである。この図より、線形の硬化式を用いた計算値は、塑性化が生じた後の実験値を完全に捉えきれていないが、 n 乗硬化式を用いた計算値は、実験結果に良好に一致することが認められた。一方、図-5は同一径のピンを用いた高速載荷時の荷重-連結板変位の関係を実験結果と計算結果で比較したものである。この図より、 n 乗硬化式を用いた場合には比較的実験値に近い値が得られるが、線形硬化式を用いた場合には最大で約20%の相違が認められた。これは、図-3に見られるように、ここで用いた2種類の硬化式のうちで、 n 乗硬化式の方がより塑性硬化を示す特性を持つためである。いずれの場合にも、要素に相当塑性ひずみの値が生じたときに初めてひずみ速度の影響が考慮されるため、ひずみ速度効果の特徴である降伏応力の上昇はうまく反映されておらず、今後の改良が必要である。

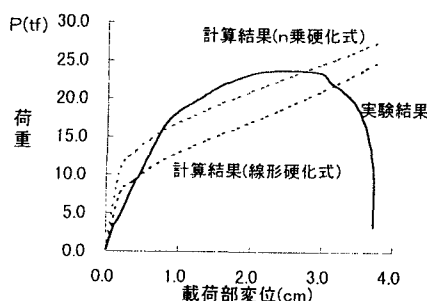
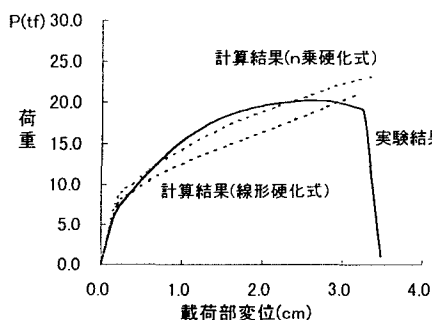


図-4 荷重～変位関係の比較(静的載荷) 図-5 荷重～変位関係の比較(高速載荷)

図-6は、連結板の終局時の変形状況に関する解析結果であり、図中の黒色の部分は、相当塑性ひずみの値が破断ひずみ程度の20%に達した要素を表わしている。この図より、連結板の破断はほぼ図中の一点鎖線方向に発生することが推定され、写真-1の実験後の連結板の破壊状況と良く一致することが確認された。

4. 結論

(1)連結板の静的な荷重～変形特性に関しては実験結果を比較的良好にシミュレートできた。

(2)連結板の高速変形時の荷重～変形特性に関しては、 n 乗硬化式を用いた計算値は実験値に近い値を示し

たが、線形硬化式を用いた場合には最大で20%程度の相違が認められた。いずれの場合にも、ひずみ速度による降伏応力の上昇は計算結果に反映されておらず、解析手法の改良が必要である。

(3)連結板内の相当塑性ひずみの分布より、破断位置の推定は可能であることが認められた。

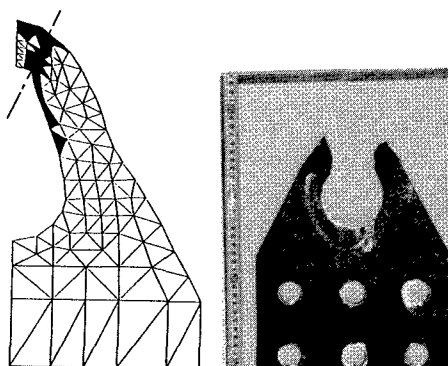


図-6 終局変形状況 写真-1 破壊状況

参考文献

- 1)小畑誠、後藤芳顕、松浦聖、藤原英之：高速引張時の落橋防止装置連結板の強度特性，土木学会論文集，No441/I-18，pp.97～105，1992年1月
- 2)高橋芳彦、大野友則、太田俊昭、日野伸一：衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリートはりの弾塑性挙動に及ぼす材料のひずみ速度効果，構造工学論文集 Vol.37A，pp.1567～1580，1991年3月