

水平 2 方向に地震力を受ける鋼製橋脚の地震時応答性状に関する研究

京都大学大学院 学生員 中村 清人 京都大学大学院 フェロー 渡邊 英一
 京都大学大学院 正会員 杉浦 邦征 京都大学大学院 正会員 永田 和寿

1. はじめに

これまで、地震時における構造物の挙動を把握するため、多くの研究が成されて来たが、水平 2 方向の地震時応答性状に関しては未解明の部分が多い。本研究では、鋼製橋脚を対象として、6 自由度に載荷可能な三次元構造物試験装置を用い(Photo1)、水平 2 方向でのハイブリッド実験と、2 方向の相関を考慮した地震時応答解析を行った。

2. 水平 2 方向ハイブリッド実験概要

本研究では、水平 2 方向に地震力を受ける橋脚を取り上げた。用いられた供試体は Fig.1 に示す長方形断面の鋼製中空柱である。動的特性をバネとダッシュポットで表現した 2 自由度バネ - 質点系でモデル化し、中央差分法を用いて行った。Table.1 に、応答計算に用いた諸元を示す。入力波は、兵庫県南部地震において、神戸海洋気象台観測波形の NS 成分 (X 方向) , EW 成分(Y 方向)を用い、Case.1 として X 方向のみ入力、Case.2 として Y 方向のみ入力、Case.3 として X,Y 方向同時入力を行った。

3. 解析概要

地震加速度を受ける 2 自由度系の運動方程式は、

$$M\ddot{X} + C\dot{X} + F = -M\ddot{Z} \dots (1)$$

となり、 $F=KX$ である。ここで降伏基準を

$$G = \left(\frac{F_x}{F_{x0}} \right)^\gamma + \left(\frac{F_y}{F_{y0}} \right)^\gamma - \phi \dots (2)$$

とし、塑性時における剛性マトリクスを求めた。

剛性マトリクスの定式化を行う上で、一般に応力 - ひずみ関係で認められている定式化過程で、それぞれ復元力、変位に置き換えて定式化を行ったところ、

$$\begin{Bmatrix} \Delta F_x \\ \Delta F_y \end{Bmatrix} = \frac{K_x K_y}{n_x^2 K_x - n_y^2 K_y} \begin{bmatrix} n_y^2 & -n_x n_y \\ -n_x n_y & n_x^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{Bmatrix} \dots (3)$$

ただし、 $n_x = \frac{\partial G}{\partial F_x}$, $n_y = \frac{\partial G}{\partial F_y}$

となり、特に簡単のため、 $\gamma=2$, $\phi=1$ と、楕円関数で、非線形挙動を完全弾塑性型に仮定すると、



Photo1 実験の様子

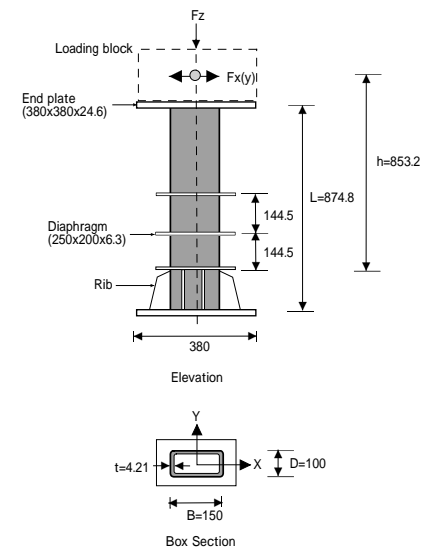


Fig.1 実験供試体

Table1 応答計算に用いたパラメータ

| 変数 | 記号 | 単位 | X方向 | Y方向 |
|------|----|-------|-------|-------|
| 質量 | m | kg | 1179 | |
| 減衰定数 | h | - | 0.02 | |
| 剛性 | K | kN/mm | 63.74 | 33.88 |

キーワード 水平 2 方向, ハイブリッド実験, 地震時応答性状, 鋼製橋脚

連絡先 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学大学院工学研究科 TEL075-3355-3433

$$\begin{Bmatrix} \Delta F_x \\ \Delta F_y \end{Bmatrix} = \frac{K_x K_y}{\frac{F_x^2}{F_{x0}^4} K_x - \frac{F_y^2}{F_{y0}^4} K_y} \begin{Bmatrix} \frac{F_y^2}{F_{y0}^4} & -\frac{F_x F_y}{F_{x0}^2 F_{y0}^2} \\ -\frac{F_x F_y}{F_{x0}^2 F_{y0}^2} & \frac{F_x^2}{F_{x0}^4} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{Bmatrix} \dots (4)$$

となる。

4. 実験結果および考察

1) 耐力力, 座屈変形

Fig.2 に, 2 方向同時入力時の変位-荷重曲線を示す。

X 方向, Y 方向とも, 単独入力時に比べ, 同時入力時には明らかに耐力力が低下した。特に, Y 方向では, 62% - 80%と, 弱軸側で, 耐力力の低下が大きかった。

座屈変形に関しては, Case.1, Case.2 とも, フランジ面(以下 F)となる部分のみ座屈が発生した。これに対して, Case.3 では, X 方向 F においては + 側で外側に, Y 方向 F においては - 側で内側に, 座屈が発生した。Case.3 では, X 方向において外側に座屈が発生し, 隅部において元の直角な状態を維持しようとして, Y 方向では逆に内側に発生したものと考えられる。

尚, ABAQUS による弾塑性有限変位解析結果との比較を行ったところ, よく一致しており, 実験結果の妥当性が確認された(Fig.3)。

2) 降伏曲面

降伏曲面に関して, Case.3 について検討を行った(Fig.4)。5.70sec - 6.00sec において, 最初に $G > 0$ となった。このとき, X 方向の勾配が急激に変化し, 同時に Y 方向でも勾配が変化していた。その後も, $G > 0$ となった時点において, 前述のような, 勾配の急激な変化が発生した。この変化は, 特に弱軸となる Y 方向において, 相当の乱れとして発生した。

4. まとめ

X, Y 各方向単独入力時に比べ, X, Y 方向同時入力の場合, 耐力力の低下, 異なる座屈損傷形状が見られたが, 特に弱軸となる Y 方向において, 同時入力による相互作用の影響が大きく表れた。

降伏関数に関しては, 本研究で用いた G を境として, X 方向, Y 方向ともに, 剛性が大きく変化し, 特に弱軸となる Y 方向においては, 単独入力時とは異なる挙動が見られた。

また, この G を元で作成した塑性時の剛性マトリクスは, 実験時の挙動を定性的に再現しており, このように塑性時の剛性マトリクスを求め, 簡単に地震時応答解析を行うことが有効と考えられる。

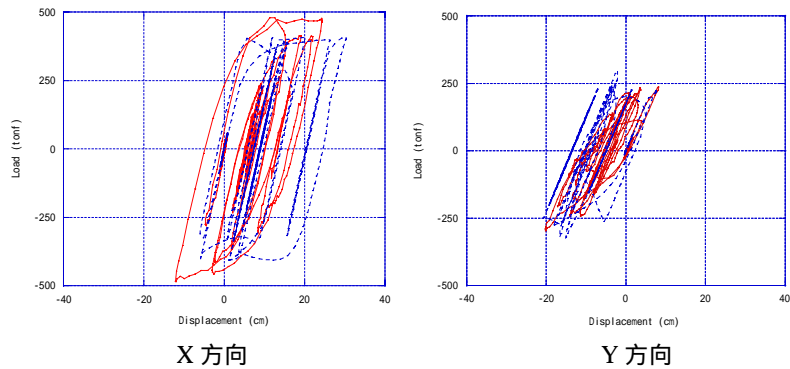


Fig.2 Case.3 の変位 - 荷重曲線 (実線: 実験、破線: 解析)

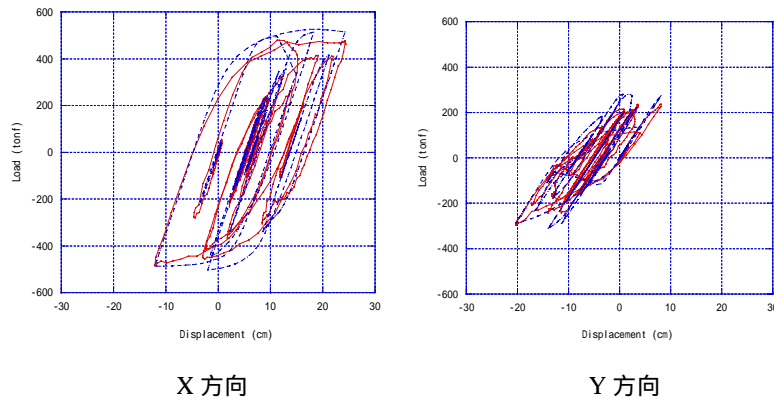


Fig.3 Case.3 の変位 - 荷重曲線 (実線: 実験、破線: ABAQUS)

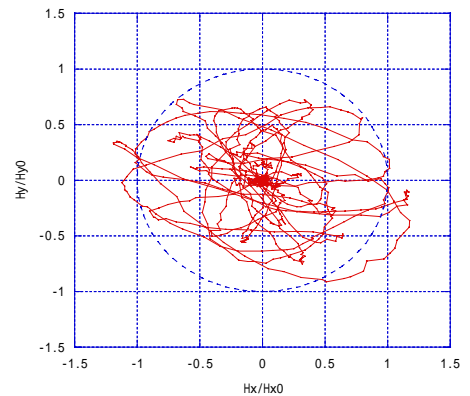


Fig.4 X,Y 方向荷重履歴