

I-213

ハイブリッド実験システムによる引張ボルト継手の解析

武藏工業大学 正会員 皆川 勝 武藏工業大学 正会員 西脇威夫
 武藏工業大学 正会員 増田陳紀 武藏工業大学 学生員 黒田充紀

1.はじめに 本研究は、引張ボルト継手の地震時の非線形挙動を実験的に調べながら、これを有する構造物の地震時挙動を、継手部の非線形性を考慮しつつ数値解析的に解明することが可能なハイブリッド実験システムを開発することを目標とする。研究の第一段階として、本報告では、1自由度のバネ質点系にモデル化した構造系を解析するためのハイブリッド実験システムを開発し、その一応用例として長縮め形式の引張ボルト継手の非線形挙動とこれを有する鋼はりの曲げ挙動を同システムによって解析した結果を示す。

2.システムの概要 一自由度のバネ-質点系の運動方程式は次式で与えられる。

$$m \ddot{x}_i + c \dot{x}_i + R_i = -m \ddot{y}_i \quad (1)$$

ここで、 x_i , \dot{x}_i , \ddot{x}_i , m , c , R_i はそれぞれ応答変位、地盤加速度、質量、減衰係数、復元力である。解析アルゴリズムとしては中央差分法を用いることとし、応答速度および応答加速度は次式のように応答変位によって表わされるものとした¹⁾。

$$\text{応答速度 } \dot{x}_i = \frac{x_{i+1} - x_{i-1}}{2 \Delta t} \quad (2) \quad \text{応答加速度 } \ddot{x}_i = \frac{x_{i+1} - 2x_i + x_{i-1}}{2 \Delta t^2} \quad (3)$$

ここで、 Δt は時間間隔である。(2)および(3)式を(1)式に代入して整理すれば、次式が得られ¹⁾、これにより逐次応答変位を求めることができる。

$$\text{応答変位 } x_{i+1} = \frac{2m \dot{x}_i + \left(\frac{\Delta t}{2} - c/m \right) x_{i-1} - (\Delta t)^2 (R_i - m \ddot{y}_i)}{m + \left(\frac{\Delta t}{2} \right) c} \quad (4)$$

応答速度と応答加速度は(1)および(2)式を用いて計算する。

システムの概要を図-1に示す。はじめに、載荷試験から部材の初期剛性を測定する。これを用いて第1ステップの応答をパソコンを用いた数値計算により求める。求められた応答変位値をD/Aコンバータによりアナログ値に変換して試験機制御回路に出力し、応答変位に対応した変位を試験体に生じさせる。この変位に応じて試験体に発生する復元力をロードセルによって検出し、アンプ・A/Dコンバータを介して、計算機に取り込む。この実復元力を用いて次のステップの応答を計算する。これを1回のループとして解析・載荷・測定が繰り返される。なお、中央差分法はSelf-starting ではないので、第1ステップの応答計算のみは線形加速法により求める。また、計算機から指令された変位が実際に試験体に生じていることを確認するために、変位値はアンプ、A/Dコンバータを通して実測変位として計算機内に取り込み、数値解析から得られる応答変位と比較した。

3. 解析対象と試験体 解析対象は中央部に長縮め形式の引張ボルト継手を有するH型断面のSS41製鋼はりである。試験体の形状・寸法を図-2に示す²⁾。使用したボルトはF10T・M20であり、初期軸力として標準ボルト張力(18.2tonf)を導入した。数値解析にあたっては、解析対象を中心部に質量が集中したはりとみなし、1自由度のバ

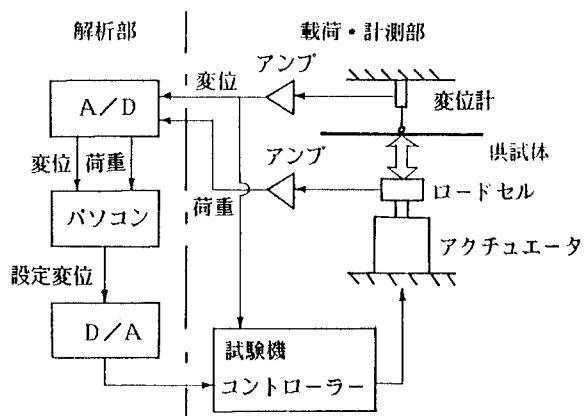


図-1 ハイブリッド実験システム

ネゴ点系にモデル化した。これに対応して、載荷方法は単純支持・一点中央載荷とした。また、今回の実験では、片振り載荷における挙動を対象としたので、繰返し載荷に先立って若干の初期変位(スパン中央で0.15cm)を試験体に与えた。この時の試験体に負荷された荷重の値は3.5tfであり、これは接合部に離間が生じる荷重値(離間荷重; 9.5tf)の37%に相当する。測定項目は、ボルトの付加軸力、接合部の離間量、各部のひずみである。なお、変位の制御及び測定には高感度変位計(東京測器研究所製CDP-25; 感度500 μ /mm)を用いた。また、ボルトの軸力および各部のひずみはひずみゲージにより、接合部の離間量はクリップ型変位計(東京測器研究所製RA-2; 感度1000 μ /mm)によりそれぞれ測定した。

4. 実験結果および考察 実地震波の一例を入力加速度波として実験・解析を実施し、接合部の離間とはりの剛性の関係を調べた。図-3に示す波形は、それぞれ入力加速度、応答変位、復元力、接合部の離間量、圧縮ならびに引張側のボルトの付加軸力の初期導入軸力に対する百分率の時刻歴を示す。また、図-4には復元力(荷重)と応答変位の関係を示す。入力加速度がピーク値になるあたりで変位が一方向に増加し、その結果接合部に離間が生じ、引張側のボルトの付加軸力が増加した。これと同時に、はりの剛性は初期剛性の約60%に低下した。しかし、入力加速度が小さくなるにしたがって変位も小さくなり、最終的には接合部は再度接触し、ボルト付加軸力はほぼゼロにもどった。その結果、はりの剛性も初期剛性にもどっており、離間が生じるような外力を受けても、最終的には剛性は低下しないことがわかった。

5. おわりに 今後は、多自由度系に対応できるよう解析部分のバージョンアップをはかり、引張ボルト継手のある構造物を実構造物に近い形でモデル化し、継手の非線形性と構造全体の地震時挙動との関連を検討したいと考えている。

[参考文献] 1) Takanashi,K. and Nakashima,M: Japanese activities on on-line testing, Proc. of ASCE, Jour. Eng. mech., Vol.113, No.7, pp.1014-1032, July 1987.
2) 櫻田機械工業㈱: 引張ボルト接合継手実験計画書および同概要書, 1987年(未公表)。

[謝辞] 研究を進めるにあたって、櫻田機械工業㈱・市川工場長・鈴木康弘氏にご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

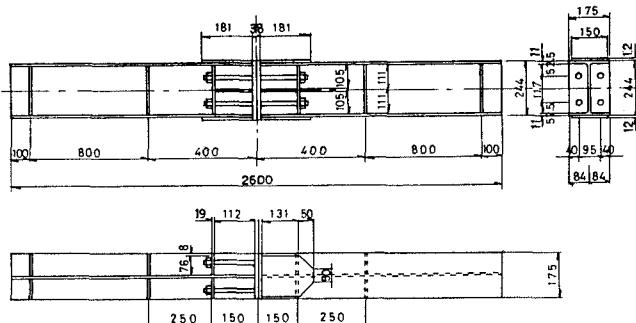


図-2 長締めボルト継手を有する鋼はり試験体

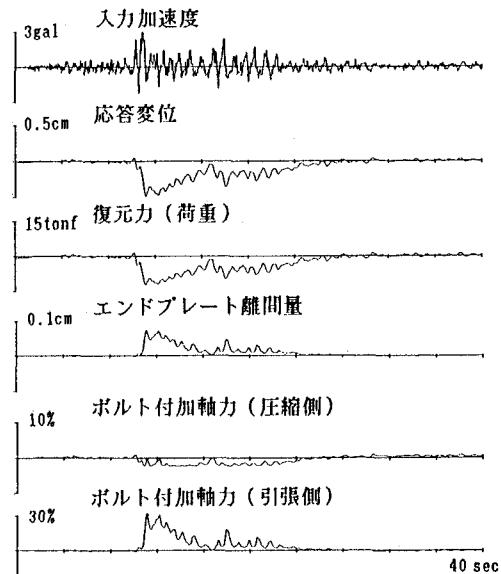


図-3 入力加速度波と測定結果の時刻歴

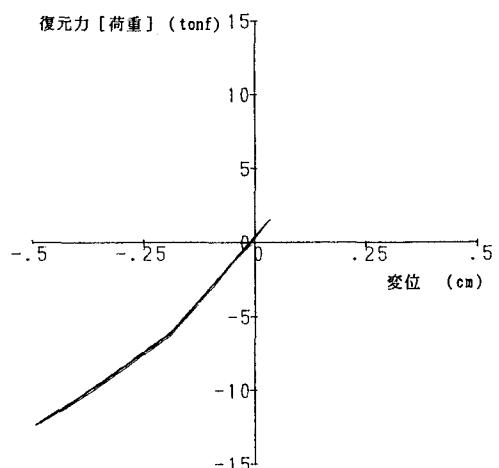


図-4 復元力[荷重]-変位関係