

サブストラクチャ応答実験システムの開発

名城大学 学生会員 ○篠田将旭
名城大学 正会員 渡辺孝一

1. はじめに

コンピュータによる数値解析と変位制御による準静的な実験供試体の載荷実験を組み合わせることで構造物の動的な応答に対する復元力を求める手法はオンライン応答実験やハイブリット実験などと称され、多数の研究事例がある^{1,2)}。これを拡張した手法としてサブストラクチャ法¹⁾があり、橋梁などの構造物全体を数値モデル化して、地震動等の外力に対する応答計算を行い、同時に構造物の中で複雑な挙動を示す部分は、実験によって復元力を得る手法である。

本研究では試行的に、1層鋼製門型ラーメン橋脚に、座屈拘束ブレースを組み込んだ実橋脚を解析モデルとして構築し、そのブレース部材に、座屈拘束ブレース（以下「BRB」と略記する）を組み合わせた構造物に対して、サブストラクチャ応答実験システムによる地震時応答計算を実施した。BRB部分は、実験装置から復元力を得る設定とし、静的な油圧アクチュエータによる実験側の制御方法などのシステム検証を行った。

2. サブストラクチャ応答実験システム

(1) 応答実験システム概要

本実験のシステムは図-1に示すようであり、主にFEM解析ソフトウェア SeanFEM、静的油圧ジャッキ

システム（ストローク 500mm, $\pm 1000\text{kN}$ ）、及び制御プログラムから構成されている。ジャッキ変位制御精度は0.01mmであり、解析や制御に使用する汎用PCは互いにLANネットワークで相互通信を行うシステムとした。このため、解析側のPCと実験装置はブロードバンドのネットワーク環境を利用することで遠隔からの実験にも対応可能である。

ハイブリット応答実験は、振動台等の大規模な加振装置を必要とせず、比較的小型な実験装置を用いて構造物の地震時挙動を取得できる利点がある。しかし、静的な加振では、様々な制御エラーを適切に処理する必要がある。例えば、1) 載荷装置の変位制御精度に関する誤差、2) 加力装置によって発生する摩擦誤差、3) 復元力の取得方法による誤差など様々である^{1,2)}。本研究では、これらの誤差を適切に補正することで、構造物の正確な応答特性を得ることを確認した。

(2) 応答制御の流れ

本研究の制御方法は、解析ソフト SeanFEM によりラーメン橋脚の逐次地震応答を計算し、応答ひずみを求める。このひずみに BRB 長さ L を乗じて目標制御変位に換算し、ジャッキを駆動させる。目標応答に到達

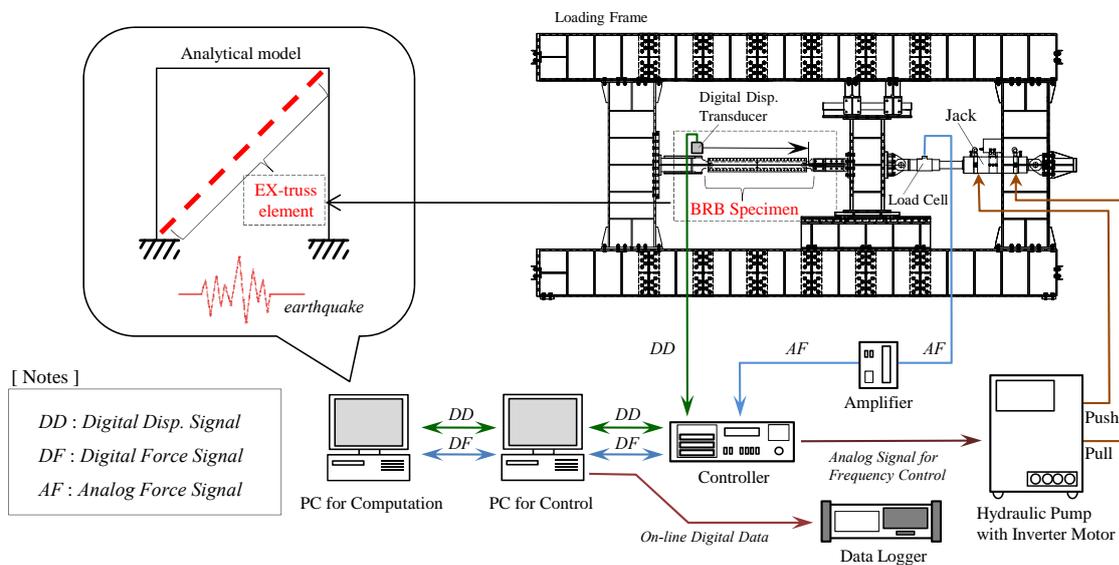


図-1 サブストラクチャ応答実験システム

した時点で得られるロードセル測定値を BRB の復元力として記録し、BRB の断面積で除して、応力に変換し、解析ソフト側にフィードバックする。

このように、本研究で採用したシステムでは、ひずみと応力のデータで応答計算を進めるため、解析モデルのスケールと実験供試体のサイズに依存しない。

3. 解析モデル

ラーメン橋脚の解析モデルは、橋脚サイズは、橋脚高さ12m、梁長さ12mとし、ファイバー要素を適用し、ブレース部はトラス要素を使い BRB としてモデル化した。橋脚モデルの外観を図-2に示す。BRB 部分の復元力は実験装置から取得し、解析に反映するシステムとした。ファイバー要素の材料構成則は、バイリニア型移動硬化則を適用し、実験の BRB で使用した供試体の材料試験より得た降伏応力 $\sigma_y=306\text{MPa}$ 、ヤング率 $E=197\text{GPa}$ 、2次勾配 $E_{sr}=E/100$ を与えた。

応答計算で使用した地震動は、神戸海洋気象台観測地震波 (JMA) および、JR 鷹取駅観測地震波 (JRT) であるが、紙面の都合から JRT の入力によって得た応答結果を例示する。

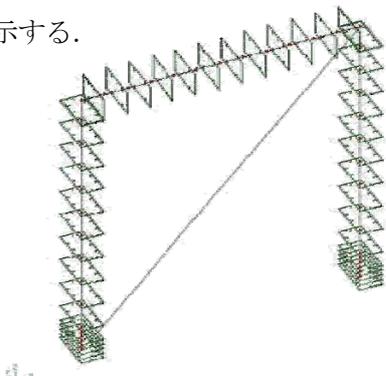
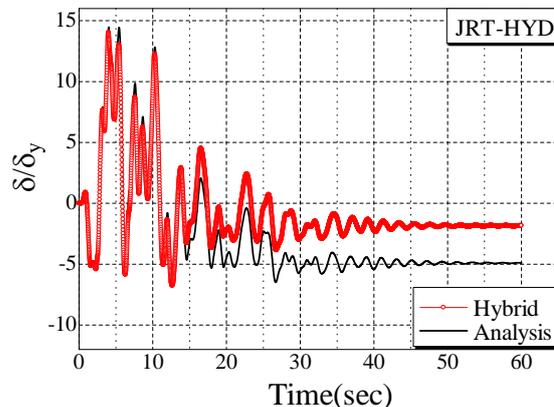


図-2 1層門型ラーメン橋脚の解析モデル

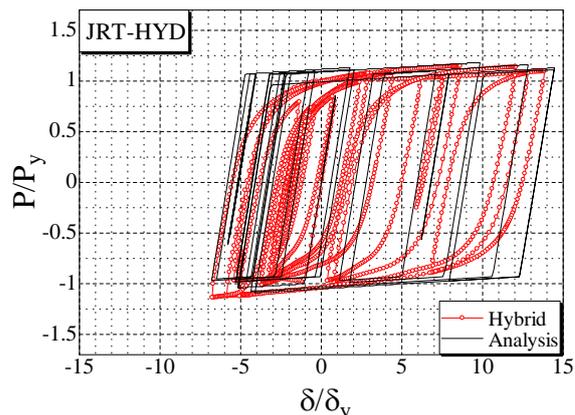
4. 応答実験結果

JMA を入力した結果では、応答実験結果 (Hybrid) と別途実施した解析結果 (Analysis) による応答結果の良い一致が得られ制御時の補正処理が行われていることを確認した。

続いて、JRT 入力時の応答結果を BRB の伸縮方向変位と復元力に着目して図-3に例示する。図-3(a)の時刻応答履歴について、地震波入力開始時から4秒付近までは、ほぼ一致している。しかし、14秒あたりから振幅にずれが生じ始め、最終的な残留変位は、応答実験が $\delta_r/\delta_y = -1.87$ 、解析が $\delta_r/\delta_y = -4.901$ となり、応答実験の残留変位が小さくなる結果が得られた。



(a) 時刻応答履歴



(b) 軸力-変形関係

図-3 JRT 入力時の地震時応答

図-3(b)に示す軸力 - 変位関係では、応答実験では、紡錘形の応答履歴が得られており、弾性範囲から材料降伏強度に至るひずみ軟化領域で滑らかな非線形挙動が得られた。一方、解析の応答は移動硬化則の典型的な応答履歴が得られた。ここでの、応答履歴の面積の差が、図 3(b)の時刻応答履歴の振幅のずれの原因と考えられる。しかし、ピーク荷重についてはほぼ一致する結果が得られることを確認した。

5. おわりに

本研究で構築したシステムでサブストラクチャ応答実験を実施し、1層門型鋼製ラーメン橋脚に設置した BRB の地震時応答を確認した。

6. 参考文献

- 1) 中島正愛, 赤澤隆士, 阪口理: 実験誤差制御機能を有したサブストラクチャ仮動的実験のための数値積分法, 日本建築学会構造系論文集, 第454号, pp.61~71, 1993年12月.
- 2) 才塚邦宏, 伊藤義人, 木曾英滋, 宇佐美勉: 相似則を考慮したハイブリッド地震応答実験手法に関する考察, 土木学会論文集, No.507/I-30, pp.179~190, 1995-1.