

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	E - ディフェンス実験に基づく大規模空間吊り天井の脱落被害低減技術開発 その17 試験体に入力された地震動の評価
Title(English)	Development of Damage Mitigation Technique for Wide-area Suspended Ceiling Systems using E-Defense Part 17 Evaluation of Actual Imposed Motion
著者(和文)	佐々木智大, 梶原浩一, 青井淳, 佐藤大樹
Authors(English)	Tomohiro Sasaki, Koichi Kajiwara, Atsushi Aoi, Daiki Sato
出典(和文)	日本建築学会大会学術講演梗概集, vol. B-1, , pp. 853-854
Citation(English)	, vol. B-1, , pp. 853-854
発行日 / Pub. date	2016, 8
権利情報	一般社団法人 日本建築学会

E-ディフェンス実験に基づく大規模空間吊り天井の脱落被害低減技術開発

その 17 試験体に入力された地震動の評価

正会員 ○佐々木智大*1 同 梶原浩一*1 同 青井淳*2 同 佐藤大樹*3

鉄骨造体育館 片持ち梁 振動
実大加振実験 回転入力 E-ディフェンス

1. はじめに

著者らは、E-ディフェンスを用いた大規模空間吊り天井の実大加振実験に基づき脱落被害低減技術の開発を進めている。本報では、その 2 に示した実大鉄骨造体育館試験体(以下、試験体)の柱脚部における振動を分析し、試験体に入力された地震動の評価する。また、震動台の回転入力が応答に及ぼす影響についても検討する。

2. 柱脚部の振動評価

図 1 は、K-NET 仙台波 100% 入力時の柱脚部に取り付けた加速度計で計測した加速度を用いて求めた加速度応答スペクトルである。図 1 中には比較のため、震動台上の 4 隅に置いた加速度計の測定値を平均した結果を用いて求めた震動台上加速度の加速度応答スペクトルも合わせて示す。図 1 に示すように、柱脚部で計測された加速度は、梁間方向、桁行方向の水平 2 成分は震動台上の加速度とほぼ一致しており、水平 2 成分についてはほぼ想定通りに試験体に加速度が入力されたと言える。一方、鉛直成分については、周期約 0.1 秒(10Hz)のところで大きな振動増幅が見られ、特に角部の柱脚部(X1Y1)において、顕著である。大きく張り出した基礎梁が、片持ち梁として鉛直振動しているためと考えられる。これについて考察する。

まず試験体の基礎梁を簡易にモデル化するため、図 2 に示す自由端に大きな質量 M を有する片持ち梁を仮定する。片持ち梁は、密度 M 、弾性係数 E の均一な材料で、断面積 A 、断面二次モーメント I の一様な断面を有しており、長さは l とする。自由端に集中荷重 P が作用したときの変位分布を $X(x)$ とすると $X(x)$ は次式で表せる。

$$X(x) = \frac{Pl^3}{3EI} \left\{ 1 - \frac{3}{2} \left(\frac{x}{l} \right) + \frac{1}{2} \left(\frac{x}{l} \right)^3 \right\} \quad (1)$$

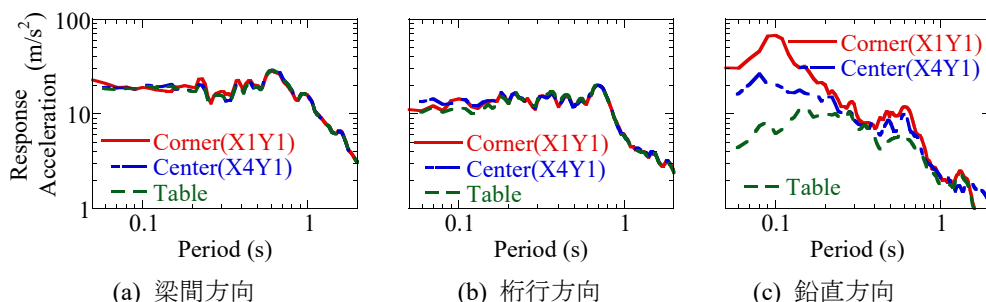


図 1 柱脚部の加速度応答スペクトル

ここで、 x は自由端からの距離である。

この変位分布を用いて Rayleigh-Ritz の方法で近似的に 1 次固有振動数を求める。運動エネルギーとひずみエネルギーの最大値をそれぞれ $K_{\max}$ 、 $U_{\max}$ とすると、

$$K_{\max} = \int_0^l \frac{1}{2} \rho A \{ \omega X(x) \}^2 dx + \frac{1}{2} M \{ \omega X(0) \}^2 \\ = \left(M + \frac{33}{140} \rho A l \right) \frac{P^2 l^6}{18 E^2 I^2} \omega^2 \quad (2)$$

$$U_{\max} = \int_0^l \frac{1}{2} EI \left\{ \frac{d^2 X(x)}{dx^2} \right\}^2 dx = \frac{P^2 l^3}{6 EI} \quad (3)$$

ここで、 ω は 1 次固有円振動数の近似値である。

よって、 $K_{\max}$ と $U_{\max}$ が等しいときの ω を求めると

$$\omega^2 = \frac{K}{M + \frac{33}{140} \rho A l} \quad \text{ただし} \left(K = \frac{3EI}{l^3} \right) \quad (4)$$

1 次固有振動数 f は

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{K}{M + \frac{33}{140} \rho A l}} \quad (5)$$

式(5)に基づいて基礎梁の 1 次固有振動数を推定する。試験体の基礎梁は、断面が途中で変化しており、震動台に近い方で H-900×300×16×28、震動台に遠い方で H-700×300×16×28 である。それぞれの断面二次モーメントは 0.00404m⁴、0.00228m⁴、それぞれの単位長さ質量は 0.240t/m、0.215t/m である。また、張り出し長さは、桁行方向は 6m、梁間方向は 3.3m である。鋼材の弾性係数を 200kN/mm² とする。また、試験体の上部建物重量による支点反力は、3 次元フレーム解析の結果より、角部(X1 通り)の柱脚で 11.2kN、中央構面(X4 通り)の柱脚で 72.4kN である。支点反力を重力加速度で除して等価な質量を求め、これらのパラメータを用いて片持ち梁の鉛直振動を評価

すると、桁行方向は 10.5～13.9Hz(0.072～0.095 秒)、梁間方向は 11.3～15.0Hz(0.067

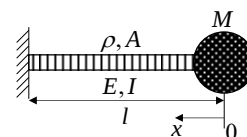


図 2 自由端に大きな質量を持つ片持ち梁

～0.088 秒)となる。この振動数は、図 1 に示した応答増幅の見られた固有周期に一致することから、支点反力から求まる等価な質量と梁の各種パラメータを用いて簡易に評価できると言える。

3. 震動台の回転入力の影響

まず、震動台上に取り付けた 3 軸加速度計 5 台計 15 成分の結果から震動台中央における加速度ベクトル $\{\ddot{u}_g\}$ 及び角加速度ベクトル $\{\ddot{\theta}_g\}$ を求める。右手系の座標を仮定し、震動台を剛体と仮定すると、ある任意の座標ベクトル $\{p_i\}$ における加速度ベクトル $\{\ddot{u}_i\}$ と $\{\ddot{u}_g\}$ 、 $\{\ddot{\theta}_g\}$ は以下の関係がある。

$$\{\ddot{u}_i\} = \{\ddot{u}_g\} + \{\ddot{\theta}_g\} \times \{p_i\} \quad (6)$$

5 台の加速度計の結果を使うことにより、式(6)から 15 個の方程式が立てられる。求めたい未知数は $\{\ddot{u}_g\}$ 、 $\{\ddot{\theta}_g\}$ の 6 個で有り、未知数の数よりも方程式の数の方が多いことから、ここでは、誤差の自乗が最も小さくなる $\{\ddot{u}_g\}$ 、 $\{\ddot{\theta}_g\}$ を求めた。図 3 は求めた加速度及び角加速度である。

図 3 の結果を用いて屋根面において計測された加速度から回転の影響がどの程度あるかを評価する。式(6)中の第 2 項は、ある任意の座標ベクトル $\{p_i\}$ において、震動台の回転の影響で生じる加速度とみることが出来る。

図 4 は屋根面で計測された梁間方向加速度と、図 3 に示す回転入力の影響により屋根面に生じる梁間方向加速度を比較して示す。X1Y1 通りにおける結果の方が X4Y5 通りに比較して大きな値を示しており、震動台中心からの距離が遠いほど回転入力により生じる加速度は大きくなっていると言える。しかし、最大でも 0.013m/s^2 程度と十分小さい。ここでは梁間方向のみを示すが、他の方向でも同様である。

図 5 に屋根面加速度に対する回転入力により生じる加速度のフーリエ振幅比を示す。なお、図 5 の結果は 5 点の移動平均を 30 回かけ平滑化したものである。震動台中心からの距離が遠い X1Y1 通りの方が X4Y5 通りに比較して大

きい値を示している。各成分に着目すると、水平 2 成分については、概ね 2Hz 以下の周波数が小さい成分にはほとんど回転による影響は含まれていない。一方、鉛直成分については、周波数が小さい成分にも、それなりの応答が含まれていることがわかる。

回転入力が試験体に与える影響を検討するため、ブレースの非線形性を考慮した 3 次元骨組みモデルを用いて多点入力による回転入力を考慮した場合と、回転入力を無視した場合の 2 ケースの解析を行った。図 6 は解析の結果得られた屋根面の加速度より求めた加速度応答スペクトルである。比較のため、実験により測定された屋根面加速度から求めた加速度応答スペクトルも示している。解析結果は実験結果に比較してやや小さい応答を示しているが、振動特性は精度良く再現できている。図 6 から明らかのように、回転入力が試験体の応答に与える影響は十分小さい。

4. まとめ

Eーディフェンスを用いた大規模空間吊り天井の実大加振実験において、実大鉄骨造体育館試験体に入力された地震動について評価した。これにより、基礎梁では約 10Hz の振動が増幅していること、片持ち梁を仮定した簡易モデルでこの振動数が評価できることを示した。また、震動台の回転入力の影響についても検討し、試験体の応答に影響がないことを確認した。

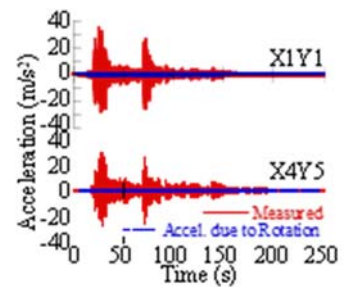


図 4 屋根面加速度と回転入力の影響(梁間方向)

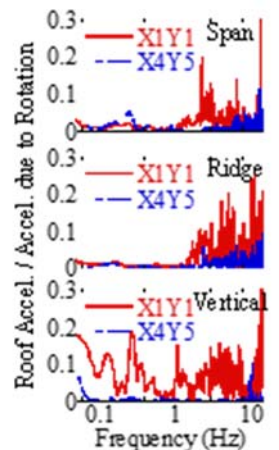


図 5 屋根面加速度に対する回転入力による加速度のフーリエ振幅比

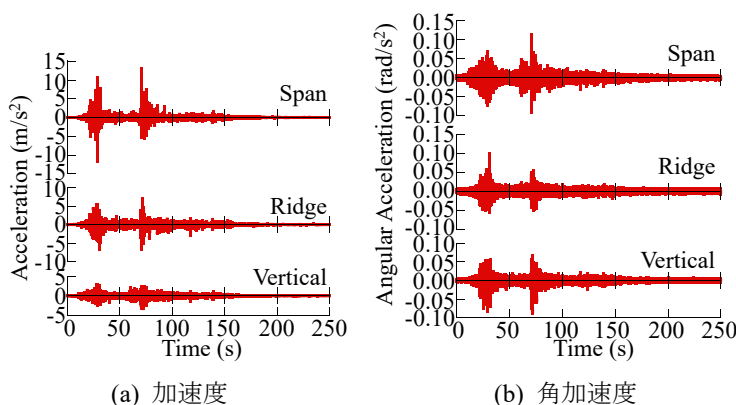


図 3 震動台加速度

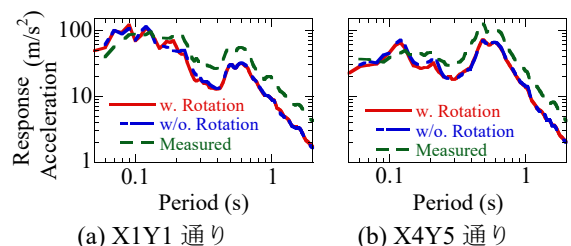


図 6 解析により求めた屋根面加速度の加速度応答スペクトル (梁間方向)

*1 国立研究開発法人 防災科学技術研究所
*2 株式会社 竹中工務店 技術研究所
*3 東京工業大学

*1 National Research Institute for Earth Science and Disaster Prevention
*2 Research & Development Institute, Takenaka Corporation
*3 Tokyo Institute of Technology