

基部加振を受ける鋼管柱模型の弾塑性応答性状

室蘭工業大学 学生員 渡部 弘信 北海道開発局 正員 三田村 浩
 日本製鋼所 正員 小枝日出夫 室蘭工業大学 フェロー 松岡 健一

1. はじめに

本研究では、鋼管橋脚の L2 地震動に対応した合理的な耐震設計に必要な基礎データの蓄積を目的として、簡易振動台を用いた小型鋼管橋脚模型に関する基部加振実験を実施した。ここでは、主に鋼管橋脚の弾塑性応答時の加速度応答倍率およびひずみ分布性状に着目し検討を行っている。

2. 実験概要

2.1. 試験体

図 - 1 に試験体の概要図を示す。試験体の形状寸法は鋼管高さ $H=500\text{mm}$ 、肉厚 $t=1.5\text{mm}$ 、板厚中心半径 $R=48\text{mm}$ である。試験体の鋼管部は、厚さ 5.7mm の圧力配管用炭素鋼鋼管(JIS G 3454 STPG370 90A)を旋盤により内外面を切削して製作した。試験体の基部は、剛体変形をできるだけ小さくするために凸状の台座および肉厚 9mm の鋼製リングをはめ込んで溶接固定している。また、試験体の上下端部には、振動台および鉛塊を固定させるための鋼板を取付けている。鋼管の力学的性質は、引張試験より降伏応力 $\sigma_y=336\text{MPa}$ 、引張強さ $\sigma_u=550\text{MPa}$ 、弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ を得ている。

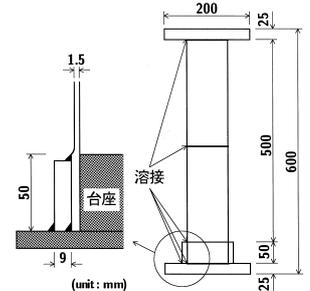


図 - 1 試験体の概要図

2.2. 実験装置および実験方法

図 - 2 には簡易振動台を用いた実験装置の概要図を示している。簡易振動台は二本のリニアウェイ上に設置しており、ボールジョイントを介してアクチュエーターに接続されている。試験体上部には橋梁上部工の質量を模擬した全質量 1.2ton の鉛塊を設置している。本実験は、試験体の最低次固有振動数および減衰定数を求めた後、所定の入力加速度および加振振動数で加振することにより行っている。表 - 1 に各試験体の実験条件を示す。入力加速度 α_i に関しては、別途実施した単調載荷実験結果と 1 質点系モデルによる加速度応答倍率を参考に、最大水平耐荷力 H_m 相当の慣性力が試験体上部に作用するように設定した。なお、実験から得られた最低次固有振動数 f_0 は $4.1 \sim 4.2\text{Hz}$ 程度、減衰定数 h は大略 $2.7 \sim 3.6\%$ 程度である。

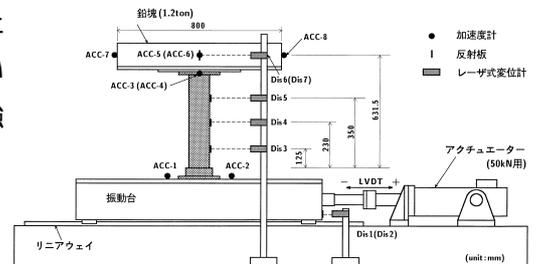


図 - 2 実験装置の概要図

表 - 1 実験条件一覧

試験体名	加振振動数 f_i (Hz)	入力加速度 α_i (gal)
f2.5	2.5	375
f3.0	3.0	375
f4.0	4.0	250
f5.0	5.0	750
f7.0	7.0	1125

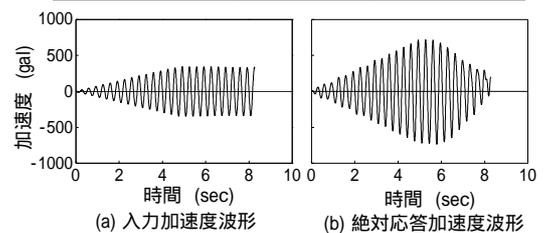


図 - 3 波形の一例 (試験体 f3.0)

3. 実験結果

図 - 3 には加速度波形の一例として、試験体 f3.0 の入力加速度波形および鉛塊重心位置における絶対応答加速度波形 (以下、単に応答加速度) を示している。(a)図より、入力加速度波形は加振開始後ほぼ線形に増幅し、5 秒程度で所定の振幅となり定常振動状態に移行していることがわかる。一方、(b)図より鉛塊重心位置の応答加速度波形は、定常振動状態に至らず振幅が最大値(約 5.5 秒)に達した後、徐々に減少していることがわかる。これは、加振エネルギーが基部近傍に発生した局部座屈によって吸収され、試験体上方に伝達されないためと考えられる。

図 - 4 には、各試験体における絶対加速度応答倍率 (以下、単に加速度応答倍率) の時間的推移を示している。図は縦軸に実測加速度応答倍率 $L_c (= \alpha_r / \alpha_i)$ を、横軸には時間をとって整理している。また、図中の括弧内の値は 1 質点系モデルによる理論加速度応答倍率 L_a を示している。なお、 L_a 算定時に必要となる f_0 および h は実験結果に

キーワード：鋼製橋脚，基部加振，弾塑性応答，加速度応答倍率，1 質点系モデル

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学 TEL 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

に基づき、それぞれ $f_0=4.1\text{Hz}$, $h=3.6\%$ と設定した。図より、試験体 f2.5 の場合には、加速度応答倍率はほぼ一定値を示し、また理論応答倍率 $L_a=1.6$ とほぼ一致していることがわかる。一方、試験体 f3.0 の場合には加振開始後約 4 秒までは試験体 f2.5 の場合と同様にほぼ一定な加速度応答倍率を示している。その後時間経過と共に試験体の塑性化が進行し、固有振動数の低下が加振振動数域を交差して進行するため、加速度応答倍率は若干上昇するものの、基部近傍の局部座屈の発生により緩やかに減少している。また、試験体 f4.0, f5.0 に関する加速度応答倍率は、加振開始後約 1~1.5 秒時点でそれぞれ 2.5, 6.5 程度まで単調に上昇するものの、その後時間の経過と共に緩やかに減少していることがわかる。これは、いずれの場合も塑性化の進行に対応して固有振動数も徐々に低減し加振振動数との差が大きくなるためと推察される。なお、試験体 f7.0 の場合には、試験体 f2.5 と同様に応答倍率は $L_e=0.25$ 程度でほぼ一定値を示しているが、理論値 $L_a=0.5$ よりも小さな値となっている。これは、実験では鉛塊のロッキング現象が発生していることが確認されていることより、仮定の振動モードと異なることによるものと判断される。

図 - 5 には各試験体における応答ひずみ波形の包絡線分布を示している。図は基部から高さ 15mm および 100mm の位置の加振方向両面に鉛直方向に貼付されたひずみゲージの値を示している。図より、ほぼ弾性的な挙動を示した試験体 f2.5 の場合には、加振開始後線形に増大し、約 5 秒後に定常状態となっていることがわかる。一方、試験体 f3.0 の場合には、基部近傍(H=15mm)のひずみが加振開始約 4 秒後に急激に増大し、塑性化が進行していることがわかる。また、5.5 秒後には圧縮側のひずみが引張側に転じていることより、局部座屈が発生し倒壊に至ったことを裏づけている。なお、倒壊時には高さ 100mm 付近でも 8000 μ 程度のひずみが発生していることから、広範囲に塑性化が進行していることがわかる。共振振動数近傍で加振した試験体 f4.0 の場合には、加振開始約 2 秒後に高さ 100mm でのひずみが増大し、その直後にひずみは引張側から圧縮側へと推移していることから、この付近で局部座屈が発生したことをうかがわせる。これに対応するように、基部近傍(H=15mm)のひずみは約 2 秒後に最大値を示し、緩やかに減少している。以上より、応答ひずみ波形の包絡線分布は図 - 4 に示した加速度応答倍率の時間的な推移と良く対応していることがわかる。

図 - 6 には鉛塊重心位置における応答加速度と応答変位に関する履歴曲線を示している。試験体 f2.5 では、ループが線形的な性状を呈していることより、試験体はほぼ弾性的な挙動を示していることがわかる。一方、試験体 f3.0 では、前述のように加振開始約 4 秒後で試験体の塑性化が進行し、約 5.5 秒後に基部近傍に発生した局部座屈により正負交番加振にも関わらず、振動中心が一方向に移動している状態が示されている。試験体 f4.0 の場合は、加振開始後まもなく試験体 f3.0 と同様に振動中心が一方向に移動し倒壊の傾向を示している。

4. まとめ

- 1) 試験体が弾性状態下の場合、実測加速度応答倍率は 1 質点系モデルの理論値とほぼ一致する。
- 2) 試験体の塑性化が進行する場合の加速度応答倍率は、加振振動数と固有振動数の関係に依存する。すなわち、加振振動数が固有振動数より小さい場合には、固有振動数の低下が加振振動数域を交差して進行するため、加速度応答倍率は一時的に若干上昇する。一方、前者が後者より大きい場合には、応答倍率は減少する。
- 3) 応答ひずみ波形の包絡線分布は、加速度応答倍率の時間的な推移と良く対応することが確認できた。

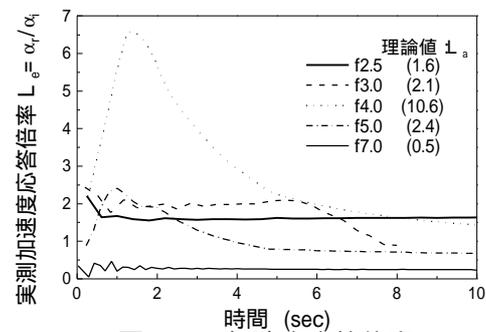


図 - 4 加速度応答倍率

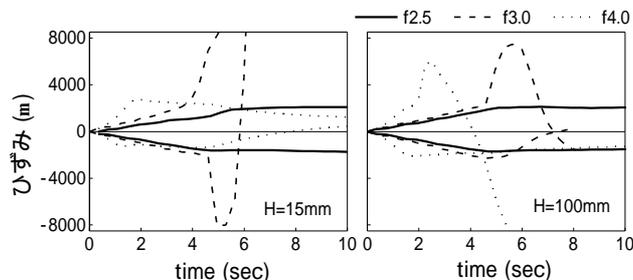


図 - 5 応答ひずみ波形の包絡線分布

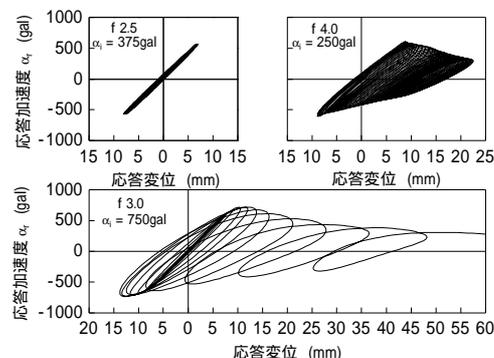


図 - 6 応答加速度 - 応答変位履歴曲線