

実物大の旅客階段模型による共振振動試験

J R 東日本 東京工事事務所 正会員 ○三木 孝則 正会員 吉田 一
 J R 東日本 東京工事事務所 正会員 井上 佳樹 正会員 高橋 泰之
 J R 東日本 構造技術センター 正会員 青木 千里

1. はじめに

旅客階段は設計基準¹⁾により、活荷重による鉛直たわみと振動数の検証を行っている。しかし、振動数の制限(1.5Hz~2.3Hzの範囲に入らないこと)を満足する階段桁が供用開始前に共振する事例があり、中間支柱を建てる等の対応を行っている。そこで、本稿では実際の旅客階段を模擬した試験体を用いて状況を再現し、衝撃試験、歩行試験等を行ったので、結果について示す。



写真1 階段試験体全景

2. 試験概要

過去に歩行による共振がみられた階段桁をモデルに、実物大の供試体を作成し、固有振動数等と共振域等の特性を確認すべく試験を行った。写真1に階段試験体の全景写真を示す。行った試験は①衝撃振動試験、②定点加振試験、③共振歩行試験である。写真2に試験の状況写真を示す。階段桁の固有振動数を調整するためには、階段桁の剛性を変化させるか、負荷死荷重を変化させる必要があるが、本試験においては、負荷死荷重を増減させ固有振動数の調整を行った。試験体は階段桁の剛性を変えた2体製作し、負荷する重量を調整し、合計6ケースの試験を行った。負荷死荷重を増加させる方針は、写真1に示すように、階段桁下フランジに対して、直角方向に鋼材をボルトで固定する方法を基本とし、追加の鋼材はさらにその下にボルトで連結させることとした。この方針は、負荷死荷重による



写真2 階段試験状況

表1 衝撃振動試験結果

試験体No.	試験体への 負荷重量	解析周波数値 (Hz)	実験値	実験値	実験値	実験値	実験値/解析値
			1回目(Hz)	2回目(Hz)	3回目(Hz)	平均(Hz)	
A	1 0t/桁	4.70	6.04	6.04	6.04	6.04	1.29
	2 4.5t/桁	3.29	3.85	3.91	3.91	3.89	1.18
	3 6.0t/桁	3.04	3.66	3.66	3.72	3.68	1.21
B	4 4.5t/桁	2.76	3.17	3.24	3.17	3.19	1.16
	5 6.5t/桁	2.49	2.99	2.99	2.93	2.97	1.19
	6 9.0t/桁	2.24	2.69	2.69	2.63	2.67	1.19

階段桁の剛性向上への寄与を極力避けるために、今回採用したものである。そのためボルト連結部も拡大孔を採用し、階段桁の剛性向上への寄与を低減させる計画とした。試験機器は階段桁下フランジに速度計を設置した。

3. 試験結果

3. 1 衝撃振動試験

衝撃振動試験は硬性ゴムハンマーにより、踊り場部の階段桁下フランジを打撃することにより行った。表1に衝撃振動試験結果を示す。衝撃振動試験は、試験体の固有振動数を計測することが目的であり、フーリエスペクトル解析により算定した卓越振動数が、階段桁の1次モードの固有振動数となる。この値は定点加振試験と、共振歩行試験時の共振振動数となるため、本試験において基準となるものである。設計基準の算定式による解析値 ($f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{EI_G}{W_G}}$) も表内に示す。設計基準による算定と、試験値に若干の乖離がみられるが、これは、階段桁に階段ステップである縞鋼板をすみ肉溶接で取り付けており、この縞鋼板の剛性が多少なりとも階段桁の剛性を向上させる側に寄与したためと考察される。

キーワード 旅客階段, 固有振動数, 共振振動試験

連絡先 〒151-8512 東京都渋谷区代々木2-2-6 JR 東日本 東京工事事務所 工事管理室 TEL 03-3379-4353

3. 2 定点加振試験

定点加振試験は、衝撃振動試験により算出した階段桁の固有振動数で階段桁の踊り場にて足踏み加振することにより振動を励起し、共振状態を確認した後、加振を止め、その状態からの自由振動波形を計測するものである。表2に定点加振試験の結果を示す。自由振動波形より減衰率と減衰定数を算定した。この結果より、

階段桁の固有振動数と、減衰性能に有意な相関関係はみられず、減衰は階段桁固有の内部減衰特性によるものと考察される。

3. 3 共振歩行試験

旅客階段で想定される歩行振動域を模擬し、メトロノーム音を聞きながら歩調を 1.5Hz (ゆっくり歩行) ~5.0Hz (駆足歩行) に合わせ、階段上部から下部まで歩行を行い、共振域や歩行振動域との相関関係等を明らかにした。表3に最大応答加速度の一覧、図1に固有振動数が設計基準の制限値と最も近い、試験体No. B-6 ケースにおける加速度波形をそれぞれ示す。加速度波形は応答加速度値が大きい固有振動数による共振歩行時と、共振歩行時と同程度の加速度が生じている歩行ケースを示した。固有振動数である 2.67 Hz や、その近傍である 2.50 Hz では、振幅が大きい波形が継続する共振が発生している。これらの結果より、衝撃振動試験より得られた固有振動数での歩行はもとより、他の振動数域においても、固有振動数での共振歩行と同程度の最大加速度が生じていることが判明した。また、図2に歩行時の快適性を照査する指標である各種の振動限度と、本試験における固有振動数による共振歩行時の最大応答加速度との比較を示す。この結果より、試験による最大応答加速度は、各種の振動限度を上回る傾向にあり、その傾向は階段桁の固有振動数が高い試験体ケースで顕著であった。

4. おわりに

衝撃振動試験、定点加振試験、及び共振歩行試験を行い、階段桁の共振域の相違による共振域と歩行振動域との相関関係等を明らかにできた。旅客階段は特性上、お客様による駆込み乗車や通勤ラッシュ時などに、制限値である 2.3Hz を超える高い振動数域での歩行や、同振動数域での群集歩行が想定される。共振歩行試験の結果からも、1.5Hz~2.3Hz での歩行振動数域では、振動限度を超えるような最大加速度は発生しなかったが、2.3Hz を超える振動数域では振動限度を超える最大加速度が発生する結果となり、検討の必要があると考える。

参考文献

- 1) 立体横断施設技術基準・同解説, 昭和 54 年 1 月, 社団法人 日本道路協会
- 2) 網谷岳夫, 坂本賢二, 吉田一: 旅客階段桁における共振対策, 土木学会第 69 回年次学術講演会, 2014. 9

表 2 定点加振試験結果

試験体No.	固有振動数実験値平均 (Hz)	対数減衰率 δ	減衰定数 $h = \delta / 2\pi$	
A	1	6.04	0.108	0.017
	2	3.89	0.153	0.024
	3	3.68	0.080	0.013
B	4	3.19	0.167	0.027
	5	2.97	0.170	0.027
	6	2.67	0.165	0.026

表 3 共振歩行試験 最大応答加速度 単位: m/s²

試験体No.	固有振動数実験値平均 (Hz)	歩行振動数										固有振動数	
		1.50Hz	2.00Hz	2.25Hz	2.50Hz	2.75Hz	3.0Hz	3.25Hz	4.70Hz	5.00Hz			
A	1	6.04	0.54	0.54	0.38	0.38	0.47	1.49	0.93	1.04	1.02	1.52	6.04
	2	3.89	0.28	0.33	0.16	0.19	0.26	0.30	0.49	0.37	0.67	1.54	3.89
	3	3.68	0.32	0.17	0.14	0.28	0.21	0.44	0.32	0.61	0.53	1.16	3.68
B	4	3.19	0.35	0.21	0.28	0.36	0.61	0.88	0.49	0.41	0.64	0.67	3.19
	5	2.97	0.36	0.17	0.46	0.42	0.77	0.58	0.45	0.68	1.74	0.93	2.97
	6	2.67	0.14	0.11	0.25	0.53	0.34	0.42	0.26	0.30	0.58	0.46	2.67

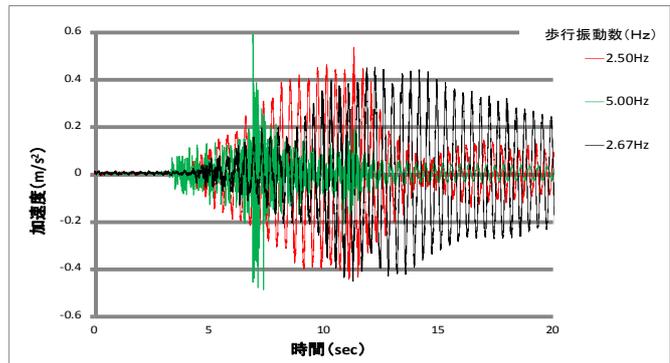


図 1 共振歩行試験 応答加速度波形 (固有振動数: 2.67Hz)

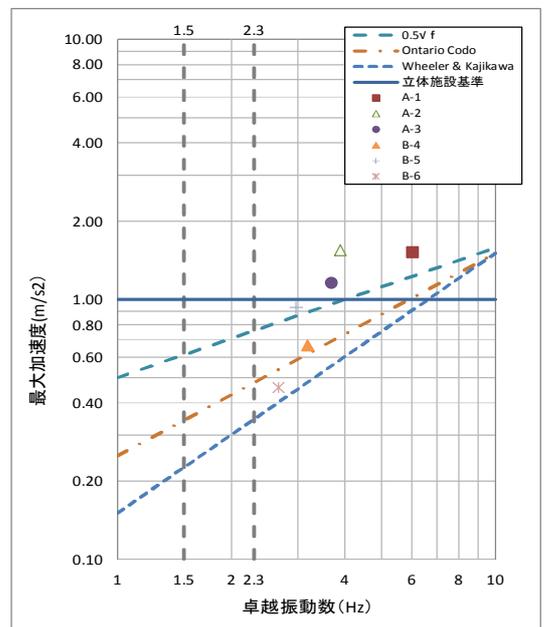


図 2 振動限度との比較