

鋼トラス構造を対象とした減衰性能に関する振動実験

竹田周平¹・河内昭徳²・池本敏和³・北浦 勝⁴・宮島昌克⁵

- ¹正会員 博（工） 福井工業大学 講師 工学部建設工学科科（〒910-8505 福井県福井市学園3-6-1）
²学生会員 金沢大学大学院 修士課程 理工学領域環境デザイン学系（〒920-1192 石川県金沢市角間1-11）
³正会員 博（工） 金沢大学大学院 助教 理工学領域環境デザイン学系（同 上）
⁴フェロー会員 工博 金沢大学大学院 教授 理工学領域環境デザイン学系（同 上）
⁵正会員 工博 金沢大学大学院 教授 理工学領域環境デザイン学系（同 上）

1. はじめに

水管橋は、ライフラインの中でも河川などに水道管を渡す際に架けられる重要度の高い構造物である。このため、地震後の通水機能を確保するため、必要とされる耐震性能を保有する必要がある。この水管橋における現在の基準¹⁾では、既往の研究事例が少ないことから、動的解析で重要なパラメータとなる減衰定数は道路橋示方書・同解説²⁾に準じたものとなっている。例えば既往の研究^{3)~5)}では、いくつかの上部構造の形式に着目した振動実験から、微動程度の振幅が小さな場合では、水管橋の減衰定数が道路橋と比較して非常に小さい結果を得ている。さらに近年では、振動模型を用いた実験⁶⁾より、定性的であるが減衰定数の振幅依存性が報告された。しかしながら、実橋における減衰定数の振幅依存性について検討されたものはこれまでに見あたらないことから、実際の橋を対象とした振幅依存性に関する

検証も必要である。以上より、本研究では既往の研究より発展させるために、振幅依存性に着目した減衰特性を求めることを目的として、代表的な構造形式である逆三角形トラス形式の水管橋（1橋）における振動実験を行った。

2. 対象橋梁と実験概要

(1) 橋梁の概要

今回対象とした橋梁は、支間長 $L=34.40\text{m}$ の汎用的な水管橋である。構造形式は、配水管を上部構造の下弦材として兼ねた逆三角形ワーレントラス補剛形式で、両端は橋台に支持されている。地盤特性は沖積層が比較的厚く堆積する軟弱地盤上に位置し、支承構造は鋼製支承による固定可動型である。また、点検用歩廊が上弦材の上に全区間にわたって設置されており、実験中の加振はこの歩廊上で行った。写真-1に対象橋梁の全景を示す。今回の実験では、振幅依存性に着目して実験するために、自由振動を開始させる初期振幅をコントロールすることが重要となる。

すなわち、上部構造の剛性が大きいと人力によるパワーでは大きな振幅を与えることが難しい。そこで今回選定した対象橋梁は、あらかじめ人力による振動実験を行い、目標とする振幅が発生させることが可能であると検証している。

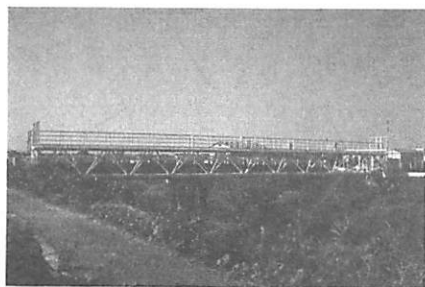


写真-1 対象橋梁

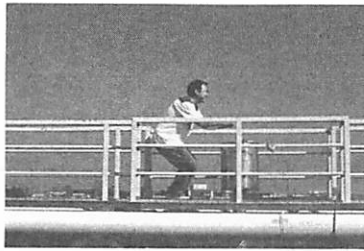


写真-2 振動実験の様子（人力加振）

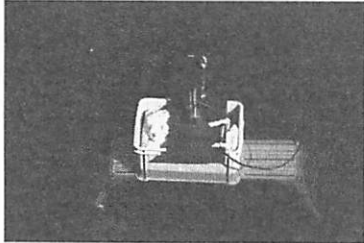


写真-3 計測機器の設置状況

表-1 グループの分類とデータ数

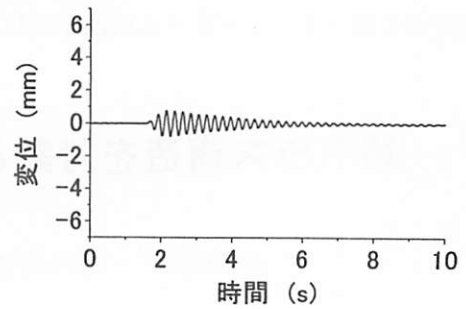
グループ	1	2	3	4	5	6	7	合計
最大Acc. (gal)	～50	50～ 100	100～ 150	150～ 200	200～ 250	250～ 300	300～ 350	
データ数	12	17	14	16	5	3	2	69

(2) 振動実験の概要

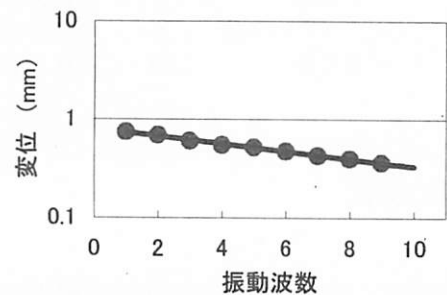
振動実験は、上部構造のスパン中央で人が鉛直方向の振動数に合わせて屈伸を繰り返し行い、目標とする鉛直方向の振幅に達した時点で屈伸を静止、その後の自由振動を記録する方法とした。また今回の実験では、屈伸回数等を調節しながら振幅の違う自由振動波形を発生させた。写真-2 に人力による屈伸状況を示す。スパン中央における振幅は、スパン中央から河床に錘を吊し、その下（河床付近）に設置した接触型変位計により計測を行った。また、可動支承部にも接触型変位計を橋軸方向に設置して、上部構造の自由振動時の可動支承の水平変位を計測した。写真-3 に河床に設置した計測機器の設置状況を示す。この様に河床付近には脚立を強固に固定し、振幅による変位を確実に計測できるようにした。

3. 実験結果

表-1 に各グループの分類とそのグループ内にお



(a) 代表的な時刻歴変位図

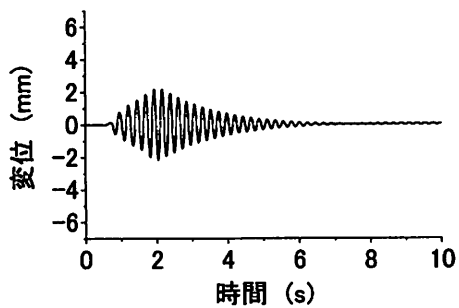


(b) 振動波数とピークとの関係

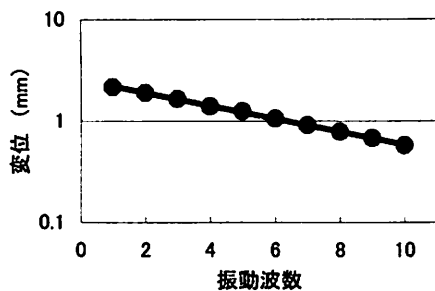
図-1 グループ 1 における代表的な波形

けるデータ数の関係を示す。ここに示す最大 Acc. は、増幅させた時の最大値を示している。実験の計画段階では、データのばらつき等も考慮し、各グループに対して 10 個以上のデータを得るまで実験することを目標としていたが、最大加速度が 200gal 以上では人力のみで振幅を大きくするには限界があり、その結果として有効となるデータは、振幅の小さいグループよりもデータ数が不足してしまう結果となった。なお、実験は全部で 7 グループに分類し、最終的に有効となったデータ総数は 69 であった。

次に、図-1～4 に代表的なグループにおける、スパン中央の鉛直方向の時刻歴変位波形（図中の(a)）と、その波形による振動波数と変位との関係（図中の(b)）を示す。図-1 は表-1 に示すグループ 1 を、図-2・3・4 はそれぞれグループ 3・5・7 の結果を示す。減衰定数の算定方法は、各変位波形の振動波数とピークとの相関関係から、振幅減衰比法によって算定する方法とした。

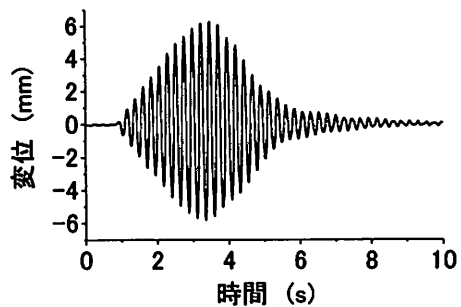


(a) 代表的な時刻歴変位図

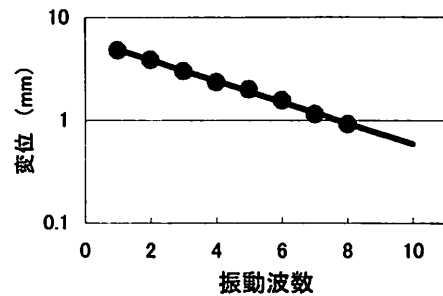


(b) 振動波数とピークとの関係

図-2 グループ3における代表的な波形

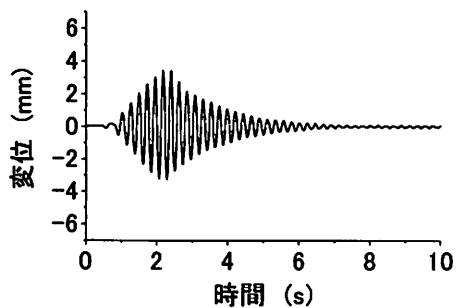


(a) 代表的な時刻歴変位図

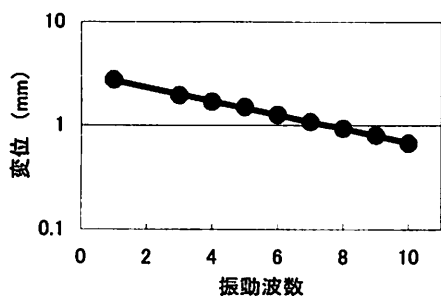


(b) 振動波数とピークとの関係

図-4 グループ7における代表的な波形



(a) 代表的な時刻歴変位図



(b) 振動波数とピークとの関係

図-3 グループ5における代表的な波形

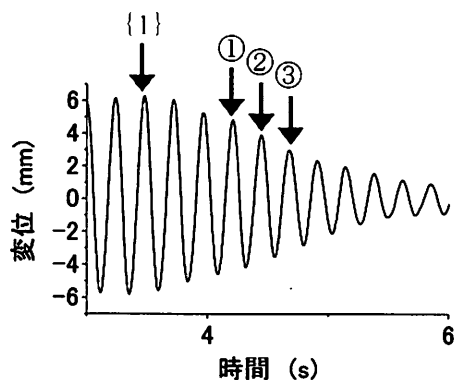


図-5 時刻歴変位の拡大図 (グループ7)

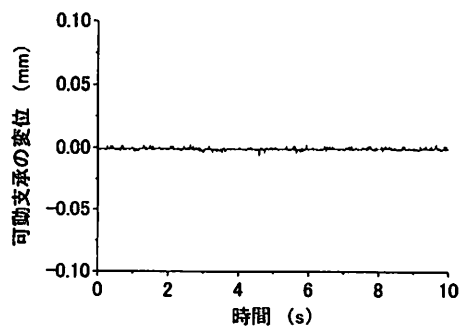


図-6 可動支承部の時刻歴変位図 (グループ7)

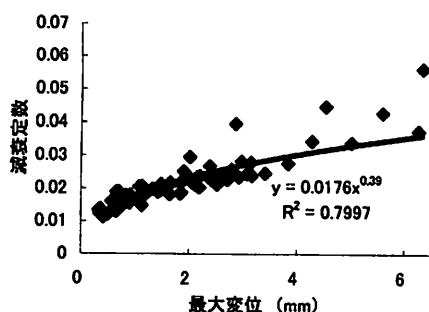


図-7 最大変位と減衰定数の関係

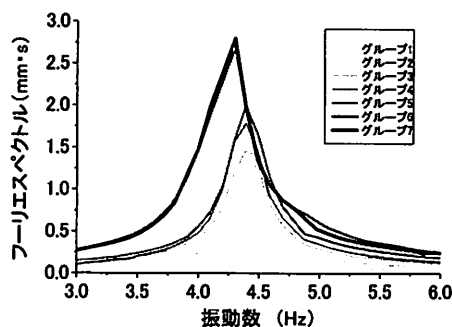


図-8 各波形のフーリエスペクトル

なお、図-5 にグループ 7 における変位図の拡大を示す。この図に示すように、振動波数の定義は最大変位を示す {1} を 1 波目とするのではなく、指数関数的な減衰を開始する①を 1 波目と定義し、そこから 10 波目までの波形を対象とした。図-6 にグループ 7 における可動支承の橋軸方向の変位波形を示す。この図より可動支承の橋軸方向への応答変位は、非常に小さいことが判る。すなわち、可動支承の摩擦減衰の影響はなく、上部構造の減衰のみが発揮されていると考えられる。

また図-1～4 (b) の振動波数とピークとの関係より、振幅のプロットが指数近似直線上に位置していることから指数関数的に減衰していることが確認された。図-7 に各波形の最大変位と減衰定数との相関関係を示す。この図から最大変位が大きくなると減衰定数も大きくなっていることが判る。すなわち、減衰定数は振幅に依存していると考えられる。また減衰定数は、振幅が最も小さな場合の $h=1\%$ 程度と最も大きな場合の $h=4\%$ と比較し 25% 程度となる結果を得た。既往の実験結果⁶⁾と合わ

せて考えると、水管橋の様な道路橋と比較し剛性が低い構造では、振幅増加に伴い減衰特性も大きくなると推測できる。また図-8 に各グループの代表的なフーリエスペクトルを示す。この図より、振幅が大きくなると卓越ピークが低い振動数と変化、すなわち、上部構造の鉛直剛性が低下する結果を得た。今回の実験では、塑性するような振幅は発生させていないため、この振動数の変化はトラス構造の幾何学的非線形の影響によるものと推測できる。また、1～1.5mm 程度の非常に小さな振幅においても振動数が低下することが判った。

4. おわりに

本研究では、振幅を変化させて自由振動実験を行い、減衰特性や振動数との相関関係について調査した。ここで得られた結果を以下に示す。

- ✓ 水管橋上部構造の減衰定数は振幅に依存して大きくなる結果を得た。このときの最大減衰定数は、 $h=4\sim6\%$ 程度であった。
- ✓ 振幅の増加に伴い上部構造の振動数も変化する結果を得た。これは、幾何学的非線形の影響と推測できる。

参考文献

- 1) 水管橋設計基準（耐震設計編）WSP064-97、日本水道鋼管協会、平成9年9月。
- 2) 道路橋示方書・同解説 耐震設計編、平成14年3月。
- 3) 水田洋司他：水管橋の振動実験、土木構造・材料論文集第15号、1992.12。
- 4) 竹田周平他：水管橋の動的振動特性に関する研究、第9回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2006.2。
- 5) 河内昭徳他：既設水管橋の動的振動実験に基づく減衰特性に関する検討、第10回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2007.2。
- 6) 河内昭徳他：鋼単純スパンを対象とした橋梁構造の減衰性能に関する実験的研究、第11回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集、2008.1。