

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

河内 昭徳¹・竹田 周平²・池本 敏和³・北浦 勝⁴・宮島 昌克⁵

¹学生会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間1-11)

²正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間1-11)

³正会員 工博 金沢大学大学院 自然科学研究科 助教 (〒920-1192 石川県金沢市角間1-11)

⁴フェロー会員 工博 金沢大学大学院 自然科学研究科 教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間1-11)

⁵正会員 工博 金沢大学大学院 自然科学研究科 教授 (〒920-1192 石川県金沢市角間1-11)

1. はじめに

水管橋は、河川などに水道管を渡す際に架けられる非常に重要な構造物である。このため、地震時のライフライン確保のため、動的解析等により耐震性能を検討する必要がある。しかしながら現在の基準¹⁾では、既往の研究事例が少ないことから、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。

また、数少ない既往の研究^{3)~5)}では、いくつかの構造形式に着目した振動実験から、水管橋の減衰定数は道路橋と比較して小さいことや、振幅の大きさによって減衰定数が異なる傾向があることなどの知

見が得られているものの、実橋や模型橋梁を対象とした大振幅時、すなわち幾何学的非線形の影響についてはほとんど知られていない。そこで本研究では、水管橋模型を対象とした振幅を変化させた自由振動実験を行い、減衰定数の振幅との依存性の有無について確認することを目的とした。

2. 実験概要

本研究では、図-1に示す上部構造と支承構造からなる水管橋模型を対象とした。上部構造は管径 $\phi=25\text{mm}$ のステンレスのパイプを用い、スパンは1500

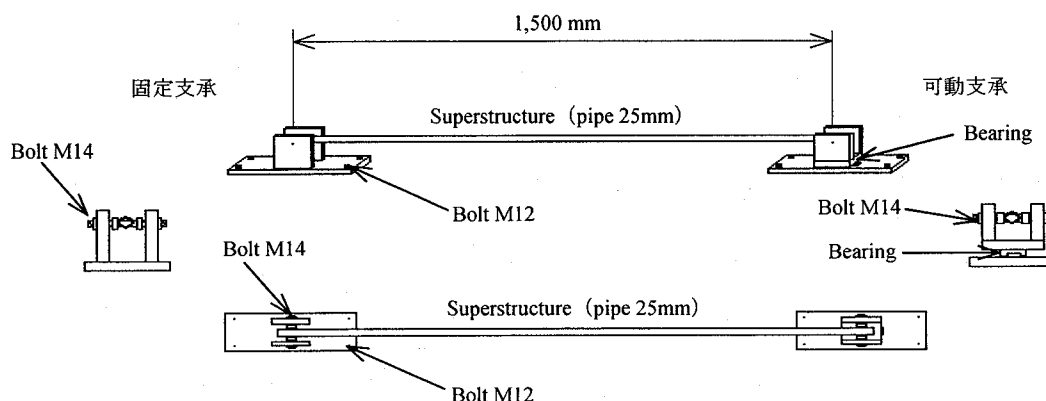


図-1 水管橋模型

表 - 1 グループの分類とデータ数

分類	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	計
最大加速度 (gal)	~300	300~ 600	600~ 900	900~ 1200	1200~ 1500	1500~ 1800	1800~ 2100	2100~ 2400	2400~ 2700	2700~	
データ数	8	11	11	8	6	11	5	9	5	6	

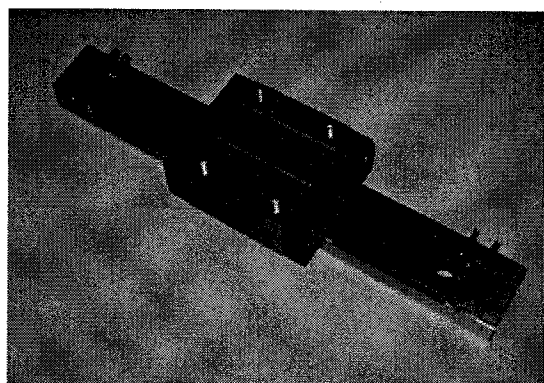


写真 - 1 ベ어링 (SEBV20-160)

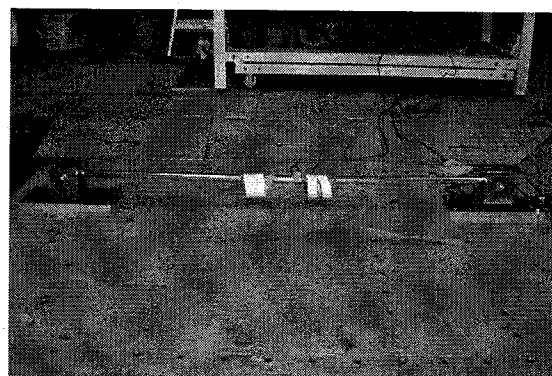


写真 - 2 実験状況

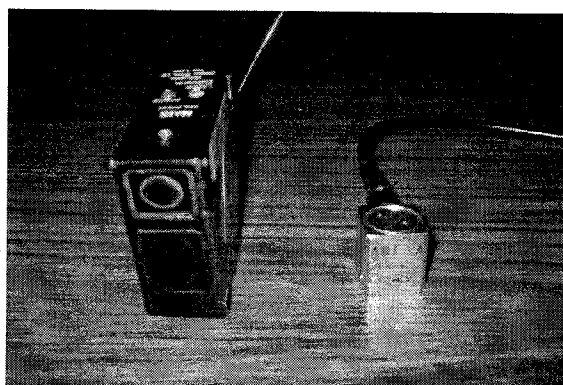


写真 - 3 計測機器

mm とした。支承について、固定支承では回転を自由、可動支承では回転と橋軸方向への変位を自由とした。また可動支承部には、写真-1 に示す摩擦の少ないベ어링 (SEBV20-160) を用いた。このデバイスは摩擦係数が 0.004~0.006 と一般的な滑り支承の摩擦係数の 1/25 程度であることから、摩擦による影響は少ない。なお、振動模型は振動台上に M12 のボルトで強固に固定した。すなわち、上部構造の振動が卓越するように構造細目を設定した。

振動実験は、人間の手でパイプのスパン中央を鉛直方向に引っ張った後、手を離して自由振動を発生させることで行った。写真-2 に実験状況を示す。

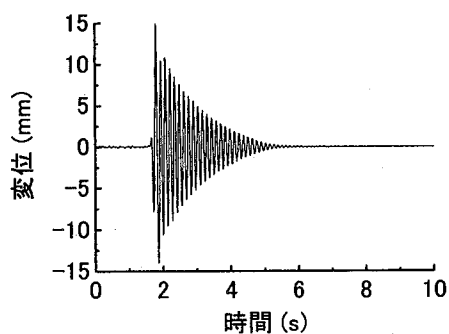
パイプを引っ張る強さを変えて実験回数を重ねることで、様々な振幅に対する自由振動波形を測定した。この時、スパン中央の加速度の最大値によって、波形を 10 グループに分類した。実験は、それぞれのグループに 5 つのデータが得られるまで行い、最終的には 80 データを得た。表-1 に各グループでのデータ数を示す。計測機器は、スパン中央に加速度計を、可動支承にレーザー変位計をそれぞれ貼付して計測した。サンプリング周波数は 100Hz とし、各ケースにおいて計測時間 15s で 1500 個のデータを計測した。加速度計 (東京測器研究所 : ARF-20A) と変位計 (NAIS : ANC1651RC) を写真-3 に示す。

3. 実験結果

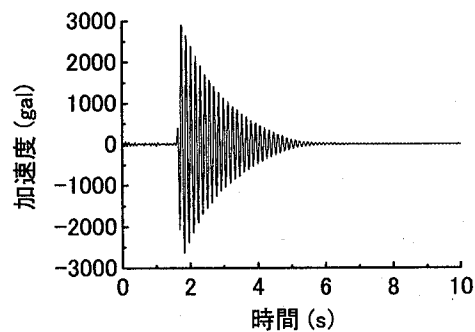
まず、図-2 にグループ 10 の代表的な波形の結果を示す。また、図-3 にグループ 1, 3, 5, 7, 9 の代表的な波形の結果を示す。

これらの図から、計測された波形の振幅が指数関

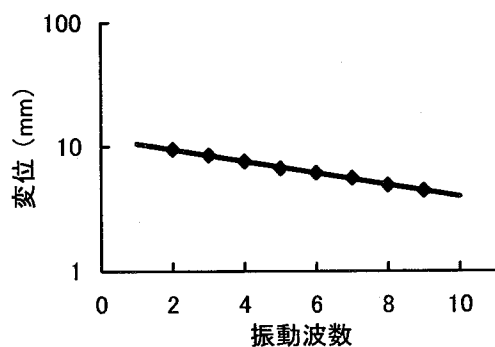
数的に減衰していることが判る。このことから、減衰の主な要因が材料内部減衰によるものであると考えられる。ここで、変位の時刻歴図はスパン中央の加速度時刻歴データからフーリエ変換を行うことで求めた。減衰定数は、変位の時刻歴波形の正側を用いて振幅減衰比法から算出した。フーリエスペクト



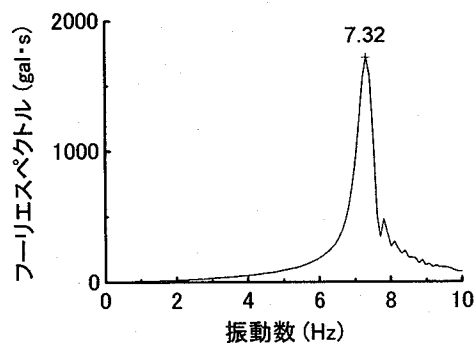
(a) 加速度の時刻歴図



(b) 変位の時刻歴図

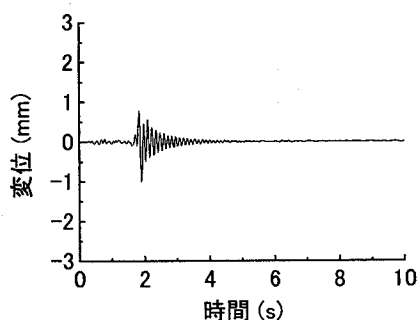


(c) 振動波数と振幅のピークの関係

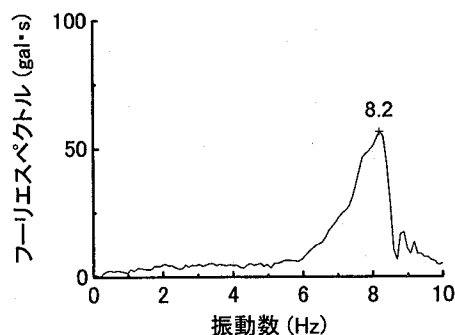


(d) フーリエスペクトル

図-2 グループ 10 の代表的な波形の結果

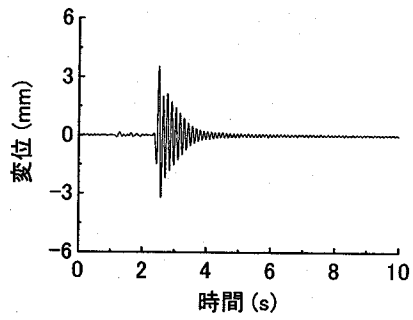


(a) 変位の時刻歴図 (グループ 1)

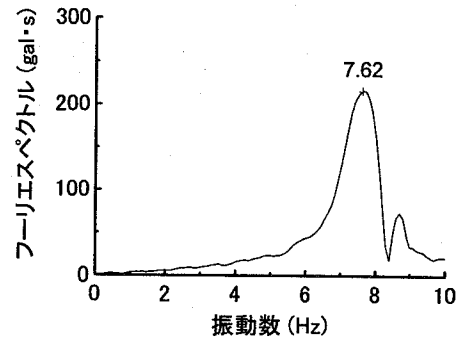


(b) フーリエスペクトル (グループ 1)

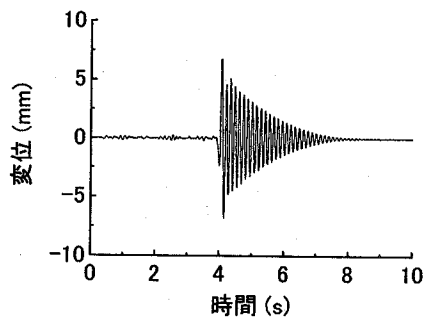
図-3 グループ 1, 3, 5, 7 の代表的な波形の結果 (1/2)



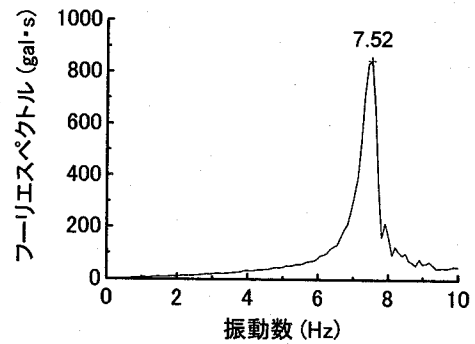
(c) 変位の時刻歴図 (グループ 3)



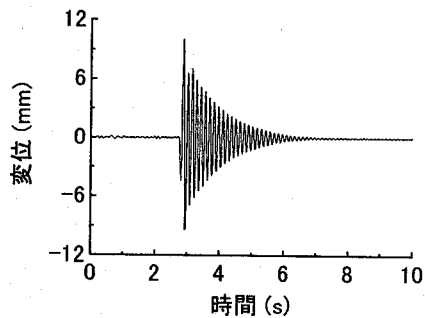
(d) フーリエスペクトル (グループ 3)



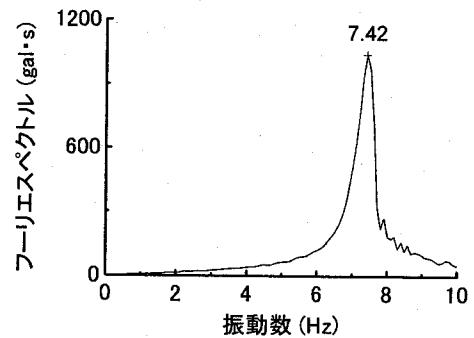
(e) 変位の時刻歴図 (グループ 5)



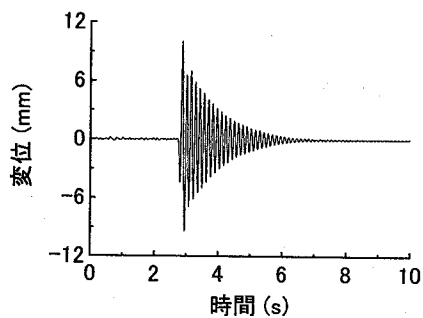
(f) フーリエスペクトル (グループ 5)



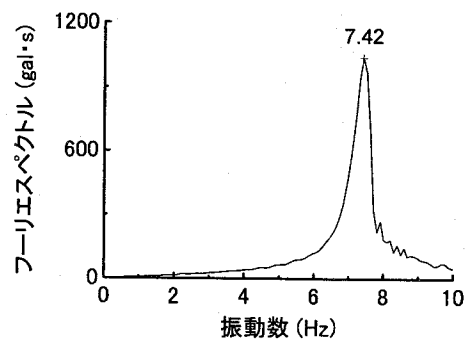
(g) 変位の時刻歴図 (グループ 7)



(h) フーリエスペクトル (グループ 7)



(i) 変位の時刻歴図 (グループ 9)



(j) フーリエスペクトル (グループ 9)

図-3 グループ 1, 3, 5, 7 の代表的な波形の結果 (2/2)

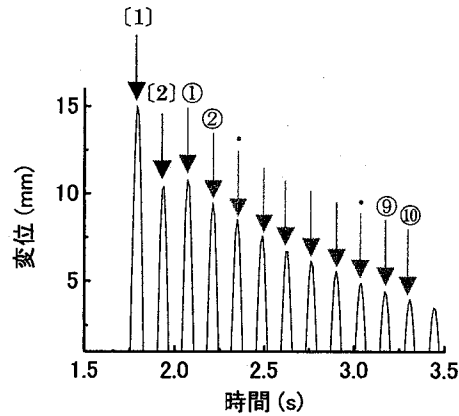
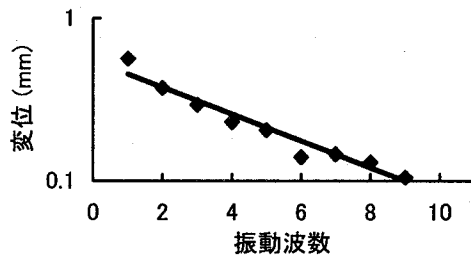
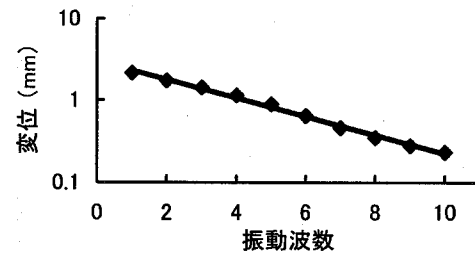


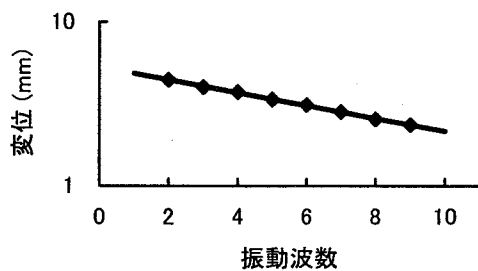
図-4 変位の時刻歴の拡大図（グループ 10）



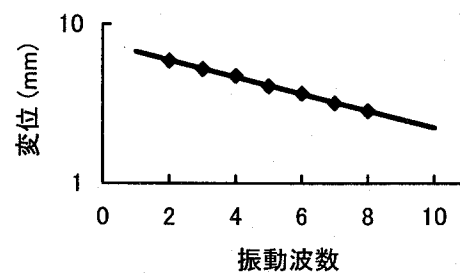
(a) グループ 1



(b) グループ 3



(c) グループ 5



(d) グループ 7

図-5 振動波数と振幅のピークの関係

ルは、加速度の時刻歴データの 10s 分、つまり 1048 点からフーリエ変換より求めた。

図-4 は、グループ 10 の時刻歴変位波形の拡大図（正側）を示している。今回の実験では、図-4 中の [1] で示す変位が最大である 1 波目と [2] で示す 2 波目は、振幅が安定していないため除外する。そして 3 波目の振動波数を 1 番目としそれからの 10

番目まで、すなわち図-4 に示す①～⑩の合計 10 個の振幅より減衰定数を算定した。

図-5 は、各グループの代表的な波形の振幅のピークと振動波数の関係を示している。ただし、この図から分かる通り、グループ 1～3 においては他のグループと比較して指数関数の近似曲線と振幅のピークが一致しておらず、安定していないと考えられるの

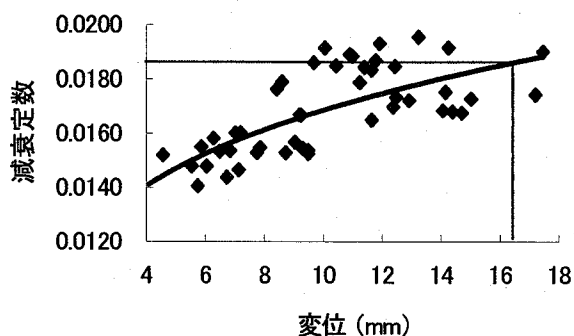


図-6 減衰定数と変位の関係

で、減衰定数の算出は行わなかった。図-6より、減衰は振幅が大きくなるにつれて、減衰定数が大きくなることが判った。そして図中に示す通り、変位が上部構造の弾性限界である 16.3mm に達した時は、 $h=1.86\%$ 程度となる結果を得た。

図-7は、変位と振動数の変化を示している。この図から、最大変位が大きくなるにつれて振動数が小さくなっていることが明らかである。図-3 (2) の通り、グループ1では8.1Hzであるが、図-2 (3) のグループ10では7.3Hzと、非常に大きく変化していることが判った。

4. おわりに

本研究では、梁をパイプ1本で表現した単純な水管橋模型を対象として、自由振動実験を行った。得られた結果を以下に示す。

- 減衰定数は、振幅が大きくなるにつれて大きくなる結果を得た。このときに振幅が小さい時の減衰定数は $h=1.4\sim1.5\%$ 程度であるが、弾性限界まで変位を大きくすると $h=1.8\sim1.9\%$ 程度までに大きくなることが判った。
- 振幅が小さいグループ1では振動数が8.1Hz、大振幅であるグループ10では7.3Hzと変化

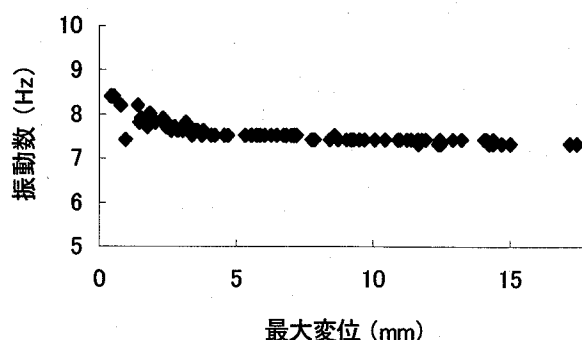


図-7 変位と振動数の関係

しているように、卓越振動数と振幅との間に依存性があると判った。

ただし、今回の実験は相似則など適切に反映していない模型による振動実験であり、得られた結果について定性的に述べるには課題が残る。今後はモデルの改良や、動的振動実験を通じて得られた減衰定数の妥当性を検証していくことが必要である。

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。