

I-57

鋼板巻立てRC橋脚の打撃による振動特性変化と損傷評価

北見工業大学 正員 山崎智之 北見工業大学 学生員 太田雅仁
 北見工業大学 正員 大島俊之 太平洋総合C. 正員 工藤英雄
 北見工業大学 正員 三上修一

1. まえがき

RC橋脚の鋼板巻立てによる補強は以前から行われていた方法であるが、1995年に起きた兵庫県南部地震により損傷した橋脚の補強や新耐震基準に対応させるための補強として、現在この鋼板の巻付けや炭素繊維の巻付けなどの補強工事が盛んに行われている。これらの補強した後の耐久性や損傷の程度を調べるのは非常に困難なことであると考えられる。著者らはこれまでRC橋脚の損傷程度を把握するため、RC橋脚供試体を用いた非破壊試験（振動試験、打撃弾性波エコー測定）を行ってきた¹⁾。本論文では以上の実験供試体で鋼板巻きおよび損傷後に鋼板巻きした供試体に着目し、鋼板巻立てによる橋脚の振動特性変化並びに打撃弾性波エコーの測定による供試体損傷箇所の評価について検討を行った。

2. 実験の概要

実験方法の詳細については参考文献 1)に記述されているので、ここでは供試体と実験手法の概略について説明する。実験は始めに供試体に損傷を加え、各荷重段階で非破壊試験を行う。供試体に損傷を加える方法は静的交番載荷試験とし、ここでは橋脚の上載荷重を想定して供試体軸方向に1.47Mpaとなる軸荷重を掛けた状態で曲げ載荷した。ただし各荷重段階とは交番載荷で正負の載荷を10kN増加する段階のことで、正負の載荷は供試体のA面及びB面から載荷することであり、これを1サイクルとして荷重段階とした。またこの載荷試験においては5kN毎に供試体の水平変位および鉄筋のひずみの測定も行っている。

2-1 RC橋脚供試体

供試体形状は図1のように供試体断面が30×30cmで高さが100cmの橋脚モデルで、供試体基部にフーチング(60×60×40cm)を設けている。供試体の種類は表1に示すように鉄筋の配筋により7種類の供試体設けている。この供試体の内鋼板を巻付けたものは供試体番号6,7の健全な状態で巻付けたものおよび供試体番号3,5の損傷後に巻き付けたものの4体である。供試体3,5の損傷程度は次のとおりである。

供試体3：引張鉄筋が降伏し始めた程度で、供試体断面方向に貫通したクラックが2本程度ある。

供試体5：完全にせん断破壊をしたもの。

このような供試体にせん断方向の補強のため厚さ3mmの鋼板(SS400)をエポキシ樹脂で接着させ橋脚胴体に巻き付けた。ただし鋼板とフーチングは結合させず切り離した

表1 供試体種類

供試体 番号	引張鉄筋量 本数 p (%)	帯鉄筋量 本数 p (%)	鋼板 巻き付け
1	SD295A 4D13 (0.68)	7D10 (0.32)	なし
2	SD295A 6D16 (1.59)	7D10 (0.32)	なし
3, ③	SD295A 4D13 (0.68)	4D10 (0.16)	なし、あり
4	SD295A 6D16 (1.59)	4D10 (0.16)	なし
5, ⑤	SD295A 6D19 (2.29)	0	なし、あり
⑥	SD295A 4D13 (0.68)	4D10 (0.16)	あり
⑦	SD295A 6D19 (2.29)	0	あり

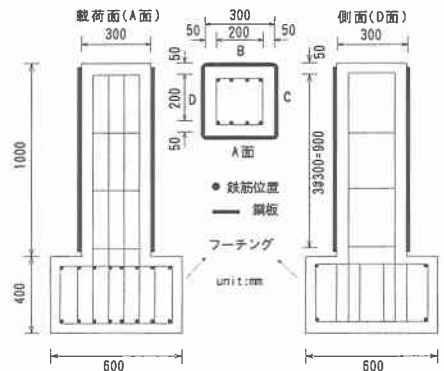


図1 RC供試体

Evaluation of Vibration Characteristics change and Damage of RC Pier with Reinforcing Steel Plate by Impact Method
 By Tomoyuki YAMAZAKI, Toshiyuki OSHIMA, Shuichi MIKAMI, Mashahito OHTA, Hideo KUDO

状態である。また、RC供試体 3,6 および 5,7 それぞれの配筋量は同じ(表 1)で、供試体に使用した材料は鉄筋:SD295A、コンクリート強度:31Mpa である。以後鋼板を巻き付けた供試体の番号は○印で囲むこととする。

2-2 振動試験

振動試験の概略を図 2 に示す。重りを天井から吊り下げ振り子状にして橋脚頂部側面(載荷面 A)に衝突させ加振し、減衰自由振動として測定を行った。ただし加振力を一定とするため重りを放す位置は固定して衝突させている。

振動試験は 1 サイクルごとに交番載荷を中断して行い、図 2 のように橋脚高さ方向に対して加速度計は D 面に 3 ヶ所、変位計は交番載荷の場合と同じ位置(B 面) 5 ヶ所に取り付け、加速度と変位を測定した。測定のサンプリング間隔は 0.625msec(1600Hz)である。

2-3 打撃弾性波エコー測定

打撃弾性波エコー測定の概略を図 3 に示す。六角レンチ(長さ:約 10cm)で橋脚部頂面を軽くたたいて衝撃を与え、超音波センサーで入力弾性波とクラックなどの影響による反射波を受信した。交番載荷の各サイクルごとに、橋脚部頂面において載荷面 A 側と B 側の 2 ヶ所でそれぞれ 5 回の波形集録を行い、5 回の波形を重ね合わせ反射波を確認しやすくした。この受振エコーのサンプリング間隔は 0.2msec である。このコンクリート中を伝播する弾性波速度は供試体 4 で実測した結果約 3400m/sec であった。

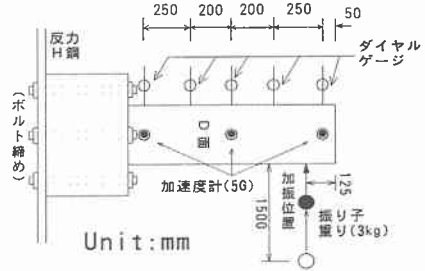


図 2 振動測定

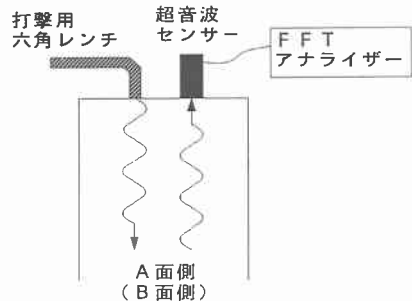


図 3 打撃弾性波エコー測定

3. 載荷による損傷状況

図 4 に各供試体について荷重サイクル毎に計算した履歴吸収エネルギーの結果を示す。履歴吸収エネルギーは図 5 に示す荷重-変位履歴曲線において履歴曲線が囲む面積を計算したもので、供試体が損傷することで供試体が吸収したエネルギー量を示し損傷の程度を知ることができる。本実験ではコンクリートの剥離が起きるような大きな損傷はなく、履歴吸収エネルギーにも大きな差は見られないが供試体 1 において 7cycle 以降の履歴吸収エネルギーが極端に大きくなっている。鋼板で巻いた供試体(③⑤⑥⑦)は巻いていない供試体(1, 3, 4, 5)と比べるとわずかに吸収エネルギーは小さく耐久性が増加していると思われる。また損傷後に鋼板を巻いた供試体(③⑤)と健全な状態で鋼板を巻いた供試体(6, 7)の曲線はほぼ一致しており、鉄筋が損傷していないかぎり鋼板で補強すれば健全状態に戻ると考えられる。

図 6 に供試体 4 の損傷状況として目視により確認したコンクリート表面上のクラック進展状況を示す。鋼

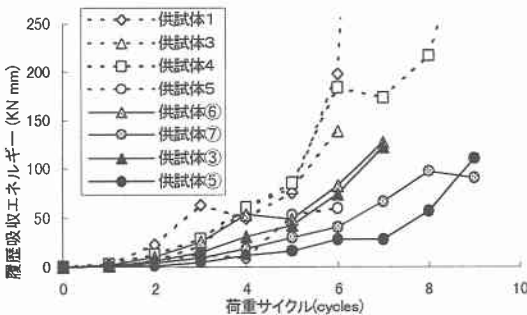


図 4 履歴吸収エネルギー

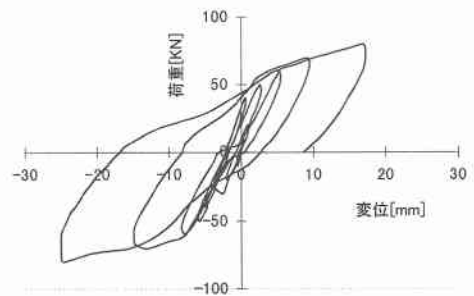


図 5 荷重-変位曲線(供試体 1)

板を巻立てた供試体の損傷は橋脚とフーチングの付け根に生じたクラックだけが確認できた。

4. 衝撃振動実験による振動特性

損傷による振動特性を比較するために卓越振動数と減衰定数を解析することにした。卓越振動数は集録した加速度波形をFFT解析して求めたスペクトルのピークが最も大きい振動数とした。減衰定数は同じ加速度波形から自由振動法により対数減衰率を求めて算定した。図7にサイクル毎の履歴吸収エネルギーを累積したものを横軸にとり、縦軸には卓越振動数と減衰定数をそれぞれとった図を示す。また集録した加速度波形から先端の加速度によって基準化した振動モードを求めた。図8に供試体4および⑤の振動モードを示す。

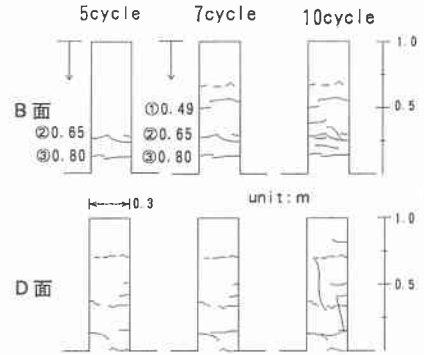


図6 損傷状況（供試体4）

卓越振動数においては全体的に損傷が大きくなると振動数が低くなる傾向にある。しかし累積吸収エネルギーが100kN mmを越えるとその減少の割合は小さくなっている。供試体1と4を比較すると図7(a)より各サイクルごとにおける供試体1の振動数の低下量が大きいことから、供試体4よりも供試体1の損傷が大きいことがわかる。初期の振動数はほぼ同程度であるが累積吸収エネルギーが増加すると振動数の差が大きくなるのは、供試体1は4よりも引張鉄筋量が少なく早期にひび割れが発生し剛性が低下しているからである。しかし鋼板を巻いた供試体③⑤⑥⑦では引張鉄筋量の違いや鋼板を巻く以前の損傷の有無には関係なくほぼ同じ傾向で振動数が低下している。これは橋脚基部に損傷（クラック）が集中し、損傷の初期段階ではおなじ損傷の程度となったためと考えられる。

図7(b)から減衰定数は全体としてはわずかに増加傾向を示している。鋼板を巻いた供試体は全体的に減衰が大きく、材料間の摩擦が増えたためと考えられる。

図8から振動モードは1次振動が卓越しており、損傷が増えてもほとんど同じ振動モードを示している。供試体4の場合供試体中央でわずかながら湾曲を見せているが、供試体⑦は鋼板を巻いているため変形は直線的な傾向を見せている。

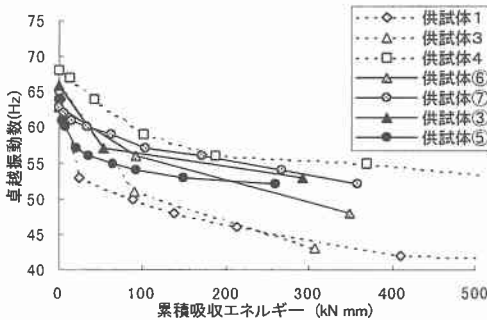


図7 (a)卓越振動数

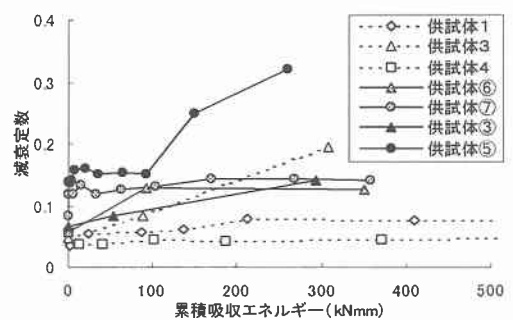


図7 (b)減衰定数

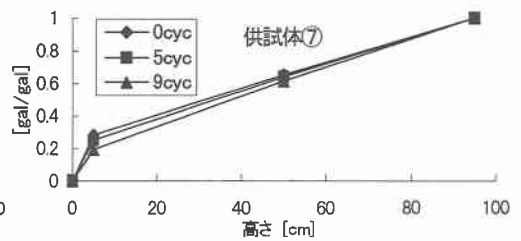
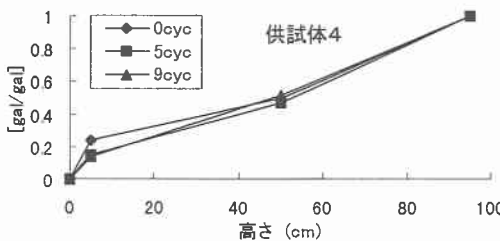


図8 振動モード

5. 打撃弾性波エコー測定による損傷箇所の判定

5-1 弾性波エコー波形による損傷位置

図9に打撃弾性波エコー波形の測定結果を示す。図9のエコー波形は供試体4と⑦のB面側で測定したもので、荷重載荷サイクルが載荷前である0cycleおよび最大荷重が50kNとなる5cycle時の波形である。供試体4のエコー波形から0cycle時には見られなかったエコーが5cycleにおいて0.4msecおよび0.51msec付近に見られる。弾性波速度から逆算すると0.68mおよび0.87mとなりコンクリートにクラックが生じた位置(図6参照)とほぼ一致する。供試体⑦では弾性波エコー測定およびそのFFT解析の結果0cycleと5cycleではほぼ同じエコー波形であることから供試体⑦では鋼板を巻いた橋脚胴体中に損傷はないと考えられる。

5-2 弾性波エコー伝播のシミュレーション

ここでは弾性波エコーによる損傷位置の判定ををより

明確にするため、汎用構造解析プログラム(MARC)を用いて弾性波の伝播を計算した。モデルは図10に示すものとし、要素タイプは平面ひずみ要素とした。境界条件は橋脚基部を完全固定とし、外周部は半無限要素を用いて外界に対して半無限条件とした。これは側面からの反射を無くし、簡単な伝搬経路とするためである。また中央にはクラックをモデル化したスリット状の損傷を設けている。衝撃力の入射位置及び観測位置を橋脚の頂部中央として、各節点の応答加速度を計算し弾性波の伝播状況を表現した。

図11に応答加速度の結果を示す。実線および一点鎖線が損傷のあるモデルで比較のため損傷のないモデルの結果を破線で表している。一点鎖線はスリット損傷の長さが75mmの場合で、太線は100mmの場合である。75mmのスリットの場合、損傷が無い場合とほとんど変わらず、わずかに伝播時間が遅くなっている。100mmの場合0.35msec付近で波が大きくなっており、スリットからの反射があることがわかる。全体的に損傷があるモデルの場合、スリットを回折するため反射の時間に多少遅れが見られる。

6. まとめ

本研究で鋼板巻立てRC橋脚の特性を検討した結果、以下のことが判断できた。損傷試験の結果鋼板を巻くことによる補強効果が現れており、特に損傷後に鋼板を巻いた供試体でも損傷前に巻いた供試体の結果とほぼ一致することがわかった。振動試験では損傷の初期段階での卓越振動数の変化は鉄筋量や補強前の損傷の有無に関わらずほぼ同じ傾向を示していた。減衰定数では鋼板を巻いてある供試体は全体的に減衰が高い傾向にあった。打撃弾性波エコーの測定では鋼板を巻いてある橋脚胴体中には損傷(クラック)は起きていないと考えられる。最後に本研究の実験、解析を行うに当たり北見工大土木開発工学科本田宣之君、久保田和徳君には多大なご助力いただきました。ここに謝意を表します。

[参考文献]

- 1) 太田、大島、他3名：打撃法による損傷RC橋脚の健全度診断と損傷評価、橋梁振動コロキウム'97 論文集、pp. 233-238、1997. 10

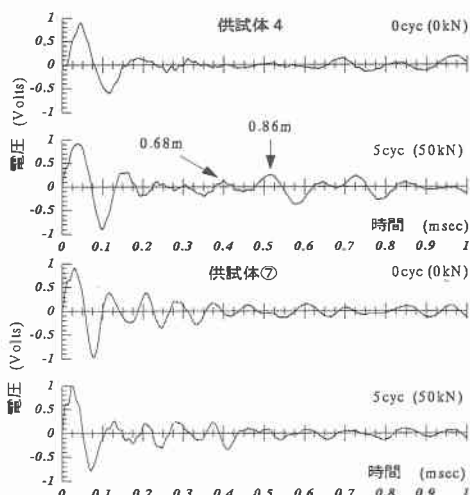


図9 エコー波形

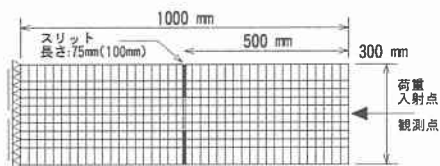


図10 計算モデル

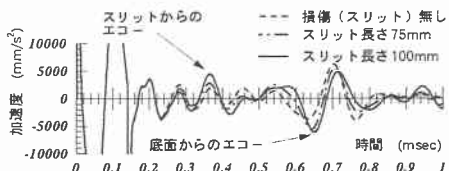


図11 応答加速度