

I-84

損傷RC柱の鋼板接着補強と弾性波による診断評価

北見工業大学 ○正 員 三上 修一

北見工業大学 フェロー 大島 俊之

北見工業大学 正 員 山崎 智之

北見工科大学院 学 生 員 太田 雅仁

1. はじめに

橋梁などの土木構造物は経年劣化による耐久性の低下や地震などによる被害などから、補修・補強あるいは架け替えが行われている。また 1998 年の新耐震基準に対応させるために橋脚の補強工事が盛んに行われており、これらの補修・補強工事を行う上でその構造物の損傷程度、耐久性を的確に評価することが重要である。特に 1995 年に起きた兵庫県南部地震や 1994 年の北海道東方沖地震などにより多くの RC 橋脚が倒壊し相当な損傷を受けており、倒壊にまで至らなかった橋脚の損傷評価をするため様々な非破壊検査が行われている。しかしこれまでの非破壊評価手法では調査しきれない損傷もあり、損傷評価に関して研究開発^{1),2)}の必要性が高いと考えられる。

著者らはこれまで基礎的実験として RC 柱橋脚模型供試体を用いて損傷程度や損傷の位置などを評価するための簡便な実験を行った^{3),4)}。実験は供試体に静的交番載荷を行い損傷を与えた後、衝撃による振動試験を行い損傷による供試体の振動特性変化を調べた。また損傷位置や損傷の有無を評価するため打撃により生じる弾性波エコー測定し、そのエコー波形で損傷評価を行った⁵⁾。本研究では損傷を受けた RC 柱に鋼板巻立て工法によって補強を行った RC 柱に静的交番載荷試験を行い補強による補修効果について検討を行う。また、鋼板巻接着した RC 柱に対して振動試験による損傷評価や打撃による弾性波試験によって亀裂損傷評価を行った。

2. 実験概要

実験は始めに供試体に段階的に損傷を加えたため静的交番載荷試験を行い、各荷重段階で打撃による振動試験及び弾性波エコーの測定を行う。次に本実験に用いた供試体と交番載荷試験方法について説明する。

2. 1 供試体

供試体形状は図-1に示したように橋脚をモデル化したものである。断面が $30 \times 30\text{cm}$ で高さが 100cm の柱部と、供試体基部にフーチング部($60 \times 60 \times 40\text{cm}$)を設けている。供試体の種類は表-1に示すように主鉄筋量や帯鉄筋量の配筋及び鋼板巻き付けの違いにより 7 種類の供試体を製作した。それぞれの配筋量と曲げ耐力 M_u とせん断耐力 V_y は表-1に示すとおりで、使用した材料は鉄筋:SD295A、コンクリート強度: 31Mpa である。せん断方向の補強のため供試体に巻き立てた鋼材は厚さ 3mm の SS400 鋼材で、エポキシ樹脂を用いて接着させた。ただし鋼板とフーチングは結合させず切り離した状態である。ここで供試体 3, 5 の静的交番載荷終了時点での損傷程度は次のとおりである。供試体 3 は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。

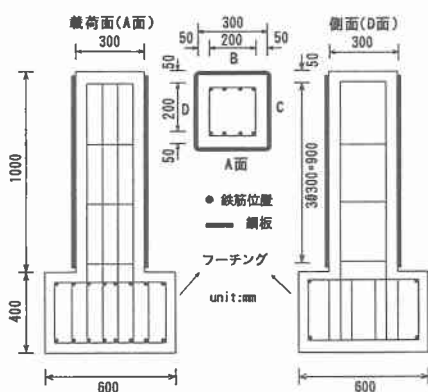


図-1 供試体形状

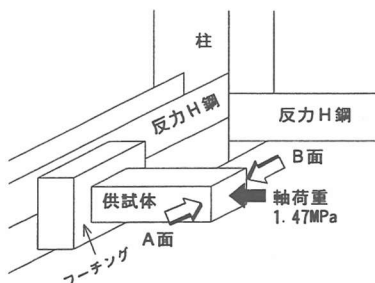


図-2 静的交番荷重状況

供試体5は完全にせん断破壊をした状態である。これら二種類の供試体に鋼板巻立てによる補強をし再度荷重試験を行うことにする。以後は表-1のように鋼板を巻立てた供試体の番号を○印で囲んで示す。鋼板補強によってせん断耐力と横拘束効果の増加が期待される。ここでは鋼板巻立て補強によるせん断耐力の効果 V_{ys} を次式により評価した⁹⁾。

$$V_{ys} = 2t_{fj}h \cot \theta \quad (1)$$

ここで、 t_{fj} は鋼板断面積、 f_{yj} は鋼板の降伏応力、 h はせん断力作用方向の柱の寸法、 θ は 35° とした。表-1の供試体⑥、⑦のせん断耐力 V_y は補強によるせん断耐力 V_{ys} を含む値である。

2. 2 荷重試験方法

図-2に示すように水平方向に交番荷重試験を行った。交番荷重は供試体A、B面の頂部付近を荷重点とし、左右から交互に荷重して正負の交番荷重とした。正負の同じ荷重を合わせて1サイクルとし、1サイクルの最大荷重を10kN、20kN、・・・と増加させ最大で100kNまでの荷重を行った。1サイクルにおける荷重増加は原則として5kN間隔とし、段階的に荷重を増減させて測定を行った。また、供試体頂面に約1.47MPaの軸力を加えた状態で荷重試験を行っている。

測定は供試体側面(B面)に取り付けたダイヤルゲージと主鉄筋に貼り付けたひずみゲージで供試体の水平変位と主鉄筋のひずみを測定した。測定位置は水平変位が図-3に示すように高さ方向に対して5ヶ所と(ダイヤルゲージ)、主鉄筋のひずみは柱基部及び中央部で測定を行った。

3. 静的交番荷重による損傷状況と補強効果

3. 1 荷重-変位履歴曲線

図-4、5に静的交番荷重で得られたRC柱基部と荷重位置の荷重-変位履歴曲線を示す。図-4は上から供試体5、⑦、⑤の履歴曲線で、「せん断先行」の破壊が予想される供試体である。また、図-5は「曲げ先行」の供試体3と鋼板補強した供試体⑥、③の履歴曲線である。この曲線で囲まれた面積(横の広がり)が大きいほど構造物の損傷が大きくなっていることがわかる。供試体3は6サイクルまでしか荷重しておらず履歴面積は小さく、大きな損傷に至っていない。図-4の供試体5は6サイクルめでせん断による大きな損傷を受けたが履歴面積は大きくない。損傷を受けた供試体3、5に鋼板補修した供試体が③、⑤で補修によってせん断耐力、曲げじん性が回復していることがわかる。供試体5、3と同じ配筋の供試体を鋼板補強した供試体⑦、⑥と同程度まで回復していることがこの履歴曲線の傾きと履歴面積からわかる。RC柱基部の履歴曲線を比較すると供試体5、⑦と供試体3、③で残留変位が生じていることがわかる。特に鋼板補強したことで供試体⑦と③には偏った残留ひずみが発生しており鉄筋の抜け出しも発生していることが考えられる。

表-1 供試体の種類と耐力

供試体 番号	M_u (tfm)	V_y (tf)	主鉄筋(SD295A)			帯鉄筋(径D10)		鋼板
			径	本数	ρ (%)	本数	ρ (%)	
3	5.16	6.58	D13	4	0.68	4	0.16	なし
4	8.68	8.30	D16	6	1.59	4	0.16	
5	11.1	7.82	D19	6	2.29	0	0	
③	-	-	D13	4	0.68	4	0.16	あり
⑤	-	-	D19	6	2.29	0	0	
⑥	5.16	8.71	D13	4	0.68	4	0.16	
⑦	11.1	9.95	D19	6	2.29	0	0	

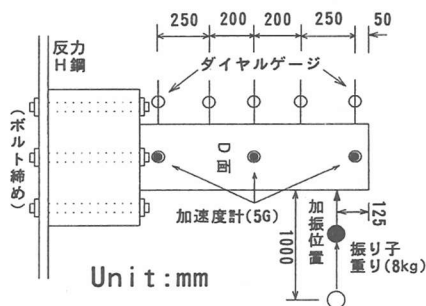


図-3 振動試験状況

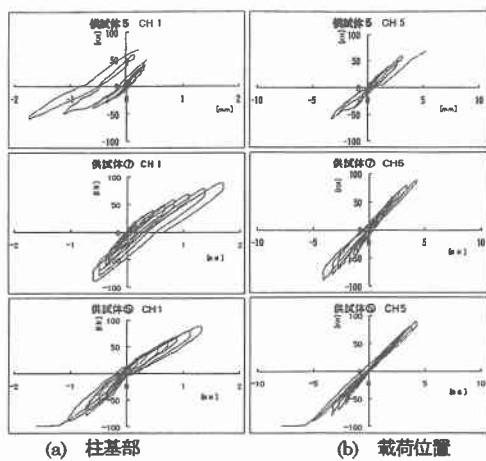


図-4 鋼板補強による荷重-変位曲線の比較
(供試体 5, ⑦, ⑤)

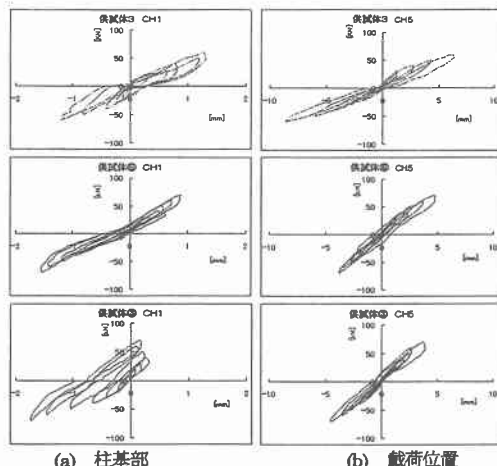


図-5 鋼板補強による荷重-変位曲線の比較
(供試体 3, ⑥, ③)

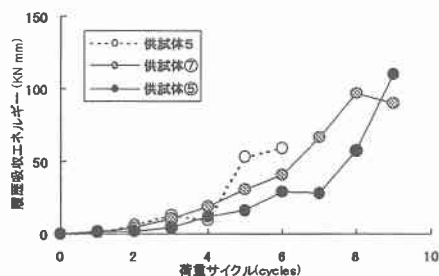


図-6 せん断先行破壊の履歴吸収エネルギー

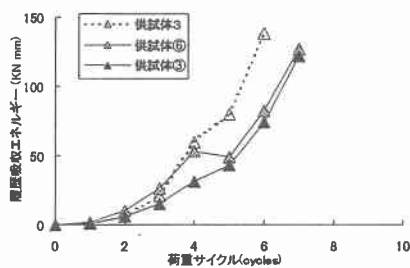


図-7 曲げ先行破壊の履歴吸収エネルギー

3. 2 履歴吸収エネルギー

図-6に供試体5、⑦、⑤について载荷位置での荷重-変位曲線より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。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。図-7は供試体3、⑥、③の履歴吸収エネルギーの比較である。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、損傷後に鋼板を巻いた供試体③、⑤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補修の効果が期待できると考えられる。

4. 損傷診断

4. 1 振動試験による損傷診断

振動試験の概略を図-3に示す。重量は8kgfの重りを打撃点上に約2m紐で吊り下げ、約1m距離で振り運動して供試体側面頂部(A面)に衝突させ加振し、減衰自由振動として測定を行った。振動試験は载荷試験1サイクル毎に測定を行っている。測定状況は図-3に示すように供試体D面で供試体の柱基部、中央部、上部に加速度計を3ヶ所、変位計は交番载荷の場合と同じ位置(B面)5ヶ所に設置し、供試体の水平加速度と変位を測定した。測定より得られた加速度波形より自由振動法によって卓越振動数と減衰定数を求めた。図-8は供試体3、⑥、③の履歴吸収エネルギーを横軸に、縦軸には卓越振動数をとって損傷との関係を示すグラフである。補強・補修を行った供試体⑥、③はほぼ一致しているが、供試体3は損傷鉄筋の降伏程度の損傷でも大きく卓越振動数の減少がみられる。

4. 2 打撃による弾性波エコーの測定

打撃弾性波エコー測定の概略を図-9に示す。六角レンチ(長さ:約10cm、径:約5mm)のような物で

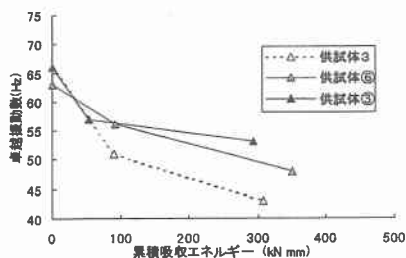


図-8 損傷と振動特性の関係

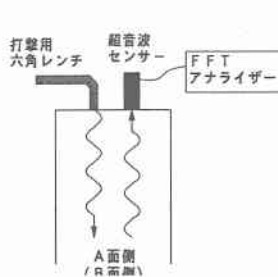


図-9 弾性波エコーの測定

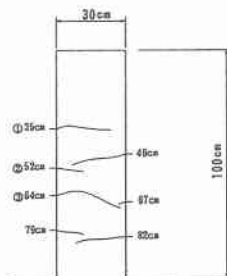


図-10 供試体4の損傷状況

供試体頂面を軽くたたいて打撃を加え、超音波センサー（共振周波数帯 50KHz）で反射波を受信した。載荷試験による供試体柱部に生じた曲げひび割れを判定するため、測定箇所はひび割れ面と入力弾性波が直交する供試体頂面として、供試体側面A側とB側の2ヶ所で載荷試験1サイクル毎に測定を行っている。またセンサーの周囲を粘土で覆い打撃点からの波形を直接センサーで受信することによる影響を小さく押えることが出来た。データーの精度を高めるため同じ測定箇所で5回の波形集録の平均を用いて解析を行った。

図-10は供試体4の交番載荷実験終了後のB面側ひび割れ発生状況である。図中の①、②、

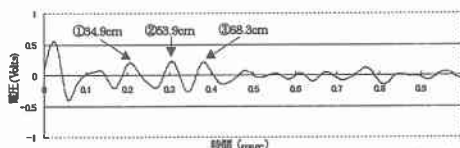


図-11 供試体4の測定波形と欠陥からの反射波の位置

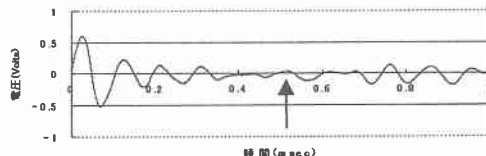


図-12 供試体⑥で測定された反射波

③は欠陥位置を示す番号である。図-11はこのときの打撃による測定波形で、○数字の位置が欠陥位置の番号に対応し、その反射波の路程距離を表している。反射波形の位置と欠陥位置がほぼ一致していることがわかる。また、図-12は鋼板巻立て補強を行った供試体⑥の交番載荷後の打撃試験の結果である。この反射波には柱基部付近からの反射波が 0.5msec 付近の矢印の位置に見られ、入射波の近くにも反射波が測定されている。このことから鋼板補強後のRC柱の基部に損傷が発生している。また肉眼で確認することは出来ないが、柱内部には曲げひび割れによる損傷は発生していないと判断される。

5. まとめ

損傷RC柱を補修する場合の鋼板接着による耐力力の向上がどの程度見込めるのか、荷重-変位曲線と履歴吸収エネルギーに着目して損傷評価を行った。また、損傷を非破壊検査によって評価するため振動試験によりRC柱の損傷と卓越振動数の関係をより損傷したRC柱を補修することで十分耐力力が得られることを示した。また、打撃による弾性波入力によるひび割れ位置の評価を行い鋼板補強によって柱基部に損傷が発生することを確認した。今回の実験だけでRC柱の損傷度を定量的に診断すること出来ないが鋼板巻立て後の供試体に対しても内部欠陥の発生状況を検査する方法の一つとして必要である。本研究を実施に当たり、平成10年度文部省科学研究補助金（代表三上修一）の補助を受けたことをここに感謝いたします。

参考文献

- 1) 南荘、森田、秋本：非破壊検査手法を用いた杭基礎の損傷調査、第23回地震工学研究発表会、pp651-654、1995。
- 2) 大島俊之：構造物の非破壊評価はどこまでできるか、土木学会平成7年度全国大会研究討論会資料「逆解析の可能性を探る」、pp.6-11、1995.9。
- 3) 岡林隆敏、沖野真、他：衝撃加振法による道路橋の振動測定、橋梁と基礎 Vol.22、No11、pp39~43、1996
- 4) 滝本和志、川村一彦：基礎で曲げ破壊するRC橋脚のエネルギー吸収容量の定式化、土木学会論文集、No532/V-30、pp5~13、1996
- 5) 山崎、他：打撃法によるコンクリート柱の健全度診断に関する研究、応用力学論文集、Vol.1、pp.161-166、1998。
- 6) M. J. N. Priestley, F. Seible, G. M. Calvi, 川島一彦監訳：橋梁の耐震設計と耐震補強、技報堂出版、1998。