

V-378

炭素繊維によるRC橋脚の耐震補強効果について (その2 設計法)

日本道路公団 松田 哲夫
 日本道路公団 正会員 ○東田 典雅
 ㈱大林組 勝俣 英雄
 ㈱大林組 正会員 小島 克朗

1. まえがき

「耐震補強」すなわち構造物の耐震性能を向上させる手法として、強度を高くすること(強度指向型補強)だけでなく、変形能力(靱性能)を向上させること(靱性指向型補強)も考えられる(図-1)。ここでは、靱性指向型の補強として炭素繊維を用いた橋脚の模型載荷実験についてまとめ、設計法に適用する際の考え方を述べる。

2. 既往の実験

前報(その1)と文献1)で報告した載荷実験のパラメータを表-1に、実験結果一覧と荷重~変形関係を図-2にそれぞれ示す。実験結果によれば、無補強の試験体では段落し部が破壊し、最大耐力・終局変位とも小さく、耐震性能に劣る。段落し部のみに炭素繊維シートを貼り付けて曲げ補強した試験体(H1-No.3)は、破壊位置を段落し部から基部に移すことができ、耐震性能も向上するが、基部がせん断破壊している。一方、基部のせん断破壊を防止するために炭素繊維シートあるいはストランドを巻き付けてせん断補強した試験体(H1-No.4, H2-No.1, NO.2)では、コンクリートおよび主鉄筋を拘束し、高い靱性能を保有させることができる。

それぞれの試験体の破壊パターンを図-3に示す。

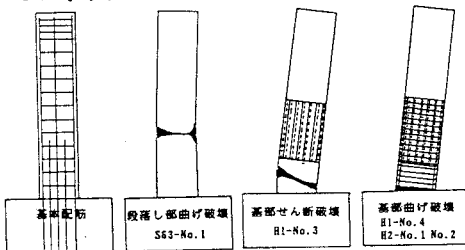


図-3 破壊形式

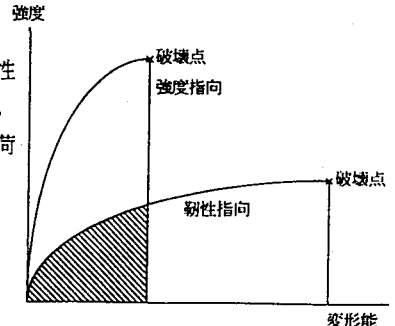


図-1 強度指向と靱性指向

表-1 実験パラメータ

試験体	補強範囲		耐力 (tonf)	備考
	曲げ補強 (段落し部)	せん断補強 (基部)		
S63-No.1	基本試験体 (無補強)		14.4	
H1-No.3	上45cm下45cm	なし	14.4	
H1-No.4	段落しなし	7-φ7 天端から60cm	14.4	
H2-No.1	上53cm下40cm	7-φ7 天端から段落し部の上53cm	0.0	動的載荷
H2-No.2				

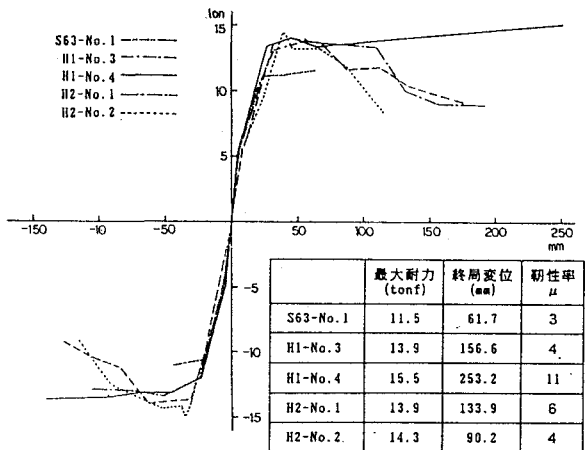
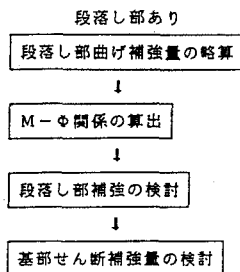


図-2 荷重~変形関係

	最大耐力 (tonf)	終局変位 (mm)	靱性率 μ
S63-No.1	11.5	61.7	3
H1-No.3	13.9	156.6	4
H1-No.4	15.5	253.2	11
H2-No.1	13.9	133.9	6
H2-No.2	14.3	90.2	4

3. 設計への適用

ここでは、段落し部が耐震上の弱点となっている橋脚に適用する場合についてのみ示す。補強のフローを図-4に示す。作用外力等は道路橋示方書に準拠して定めることとする。なお、段落し部の耐力に余裕がある場合やせん断破壊する場合などについてもここに示す方法を適宜適用する。設計を行う際の補強目標は、以下のとおりとする。



- ①補強は靱性能を向上させるいわゆる「靱性指向型」の補強とする。
- ②破壊位置を段落し部から基部に移行させる。
- ③橋脚基部で曲げ降伏を生じさせ、十分な変形性能を保有させる。

使用する材料の設計上の仮定として、炭素繊維シートあるいはストランドの破断強度を材料試験結果の下限値をもとに $250\text{kgf}/\text{mm}^2$ とし、構造物に貼り付けるあるいは巻き付ける場合の設計用応力度 σ_{CF} は、 $2/3^{2)}$ を破断強度に乗じて $167\text{kgf}/\text{mm}^2$ とする（図-5）。コンクリートおよび鉄筋の応力～ひずみ曲線は、土木学会コンクリート標準示方書に従うが、コンクリートの終局ひずみは、炭素繊維シートあるいはストランドでせん断補強された場合、炭素繊維がコンクリートと主鉄筋を拘束するため炭素繊維の補強量に応じて 0.004 以上とする。

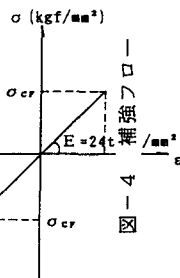


図-5 炭素繊維応力～ひずみ関係

3.1 曲げ補強

曲げ補強に必要な炭素繊維量（断面積 a_{CF} ）は、主鉄筋の不足分（断面積 a_s ）から次式で換算して略算する。

$$a_{CF} = a_s (\sigma_y / \sigma_{CF}) \quad \sigma_y: \text{主鉄筋の許容応力度}$$

この後、前述の材料特性の仮定でモーメント～曲率関係を算出し、補強量が適切であるかを確認する。曲げ補強範囲は、段落し部上部については安全を考慮して基部の最大（終局）時の作用モーメントと段落し部の降伏モーメントとの交点の90%以下のモーメントになる位置までとする。段落し部下部については、2.で示した実験の補強範囲を参考に $1.0D$ （ D : 橋脚せい）とする（図-6）。

3.2 せん断補強

せん断補強に必要な炭素繊維量は、原則として作用せん断力をすべて炭素繊維で受け持たせ、既存の帯鉄筋とコンクリートの寄与分を全く無視することとして算出する。実験結果では、 P_r （炭素繊維比 $^{2)}$ ） $=0.03\%$ （文献3）のHP-3）

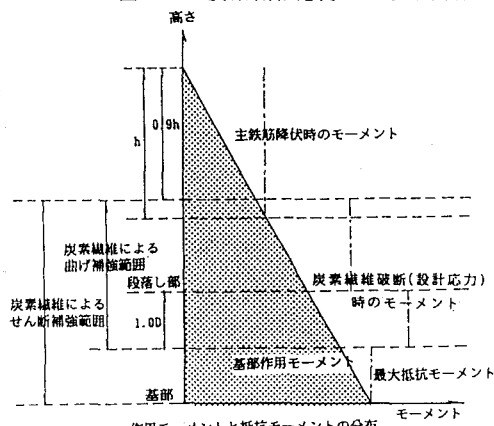


図-6 モーメント分布と補強法

の場合では変位 $5\delta_y$ （ δ_y : 降伏変位）で炭素繊維が破断し、 $P_r=0.06\%$ （H1-No.4）では $10\delta_y$ 以上まで破断しないことから、現在では安全側を考慮して $P_r=0.06\%$ とするのが望ましい。補強範囲は、現在データが不足しており、新素材であることも考慮して安全側になるよう基部から段落し部上部までとする。

4. まとめ

炭素繊維を耐震補強に使用する際は、上記の設計指針に基づき実施するが、炭素繊維が新素材でもあることから現状では、十分に安全側の設計を行うこととした。なお、補強量・補強範囲については今後さらに検討し、設計指針の確立を図りたいと考えている。

参考文献

- 1) 多久和他「RC橋脚の補強効果について」土木学会第45回年次学術講演会
- 2) 小島他「新素材による既存鉄筋コンクリート柱の耐震補強に関する研究（その3）」昭和63年度建築学会大会梗概集
- 3) 小島・勝俣他「炭素繊維によるRC橋脚の耐震補強効果について」土木学会第46回年次学術講演会