

鋼棒を用いた折れた石材はりの補修方法の実験的検討

熊本大学大学院 フェロー会員○山尾 敏孝 熊本大学 非会員 堀田 昂良
労働基準監督署 金澤 希 (株)葵文化 荒木 祐一郎

1. はじめに

石の桁橋や樋門などに使用されている比較的大きな断面寸法を有する長い石材はりが折れるなどの損傷事例が発生している。しかし、取換える損傷石材の形状寸法によっては入手が困難な場合があり、石造構造部材の保存・活用するためには補修や補強が欠かせない状況にある。現段階では、折れた石材はりは鋼棒で補修する方法が良いが、使用鋼棒や鋼棒配置方法の検討が不十分である。本研究では、折れた石材はりに鋼棒をより適切かつ効果的に配置して補修する方法を提案するものである。3種類の無損傷の石材部材を使用して曲げ試験で折って破壊させ、鋼材により補修後、再度同じ曲げによる破壊試験を実施した。

2. 曲げ試験概要

石材はりの曲げ試験は、砂岩と阿蘇溶結凝灰岩(Aso-1,4)の3種類を用いた。曲げ試験用供試体寸法を高さ200mm、幅200mm、長さ1000mmの正方形断面とし、支間長 L は900mmとした。供試体数は、Aso-4が9体、砂岩が8体、Aso-1が6体であった。実験は、無損傷な石材はりに図1(a)に示すような4点载荷により最大曲げ強度や変形挙動を把握した。次に図1(b)に示すように、2つに折れた石材はりを割れ面が中央になるよう鋼棒を入れて補修した後、同様に曲げ载荷試験を実施した。補修の手順は、まず、割れた石材の破断面を加工した後、高粘度エポキシ樹脂剤で繋ぎ養生する。石材が繋がったら片側から穴を開け、鋼棒と中粘度エポキシ樹脂剤を流し込み養生する。補修に使用した鋼棒は、図3(a)に示すような長期間のメンテナンス不要かつ付着が大きなネジ切りステンレス鋼棒を用い、鋼棒直径を $\phi 10$ と $\phi 13$ の2種類とした。鋼棒の埋め込み位置 z は、石材下面から20mmと30mmの2種類とし、鋼棒の埋め込み長さ L_s は、鋼棒の直径 ϕ の10~30倍(片側の鋼棒長さ)と部材全長を補修する場合を考え、比較検討した。なお、一部の鋼棒には中央部にひずみゲージを貼付して鋼

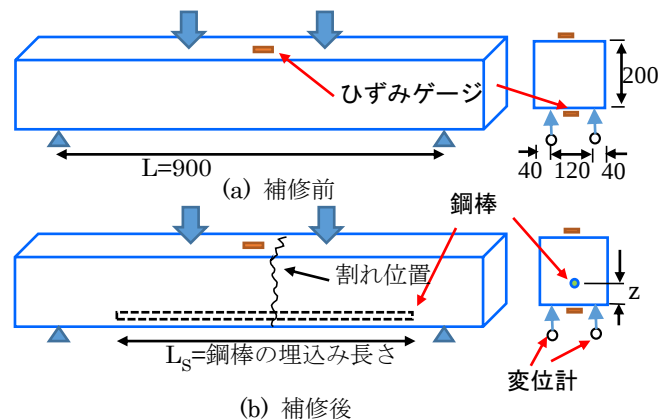


図1 補修前と補修後の曲げ試験供試体と測定 (単位 mm)

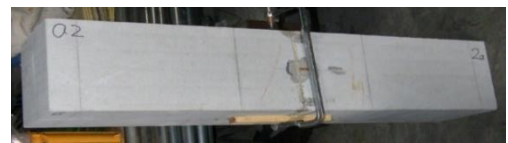


図2 折れた石材のエポキシ樹脂による補修後供試体

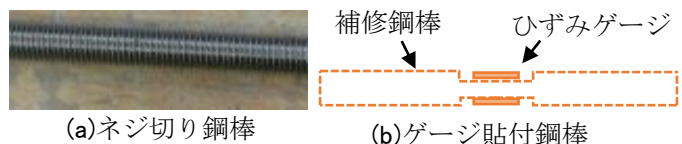


図3 ネジ切りステンレス鋼棒とひずみゲージによる測定

棒効果を調べた(図3(b)). 使用鋼材の材料特性を引張試験で求めたが、ネジ切り部を削った場合、断面寸法が小さくなり、引張強度は $\phi 10$ で及び $\phi 13$ 鋼棒とも1割程度小さくなった。実験では図1に示すように、はりの中央部下面の鉛直変位を変位計で、石材のはり中央部の上下面の応力を求めるため一軸ゲージを貼付して測定した。

3. 試験結果と考察

Aso-4、砂岩、Aso-1の3種類の石材を用いた各供試体の補修前後の最大曲げ荷重を図4に比較して示した。鋼棒の配置位置でみると、鋼棒位置の $z=20\text{mm}$ は、図中に示す供試体(Aso-1は全供試体)に適用したが、これらの供試体の最大荷重でみると補修前の最大荷重に比較して1.11倍、 $z=30\text{mm}$ では0.89倍となり、 $z=20\text{mm}$ が望ましい結果となった。一方、使用した鋼棒の直径 $\phi 10$ と $\phi 13$ では最大強度の比較で補修前の1.04倍および1.03倍となりほとんど同じ結果となった。以上より、 $z=20\text{mm}$ の位置に鋼棒を配置したことで、RCはりの鉄筋と同様な効果を得ることができたこと、鋼材の引張強度の差が生じる前に石材の最大強度に達したことと思われる。

図5は石材の供試体を曲げ試験より破損させ、その後鋼棒に補修した後再度曲げ試験をした時、補修前後で折れた位置がほぼ同じであった供試体例として3種類の石材で示した。荷重作用点は4点曲げ载荷なので、供試体の

キーワード 折れた石材はり、鋼棒による補修方法、4点曲げ载荷試験、補修長さ、エポキシ樹脂
連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪2丁目39-1 TEL 096-342-3533

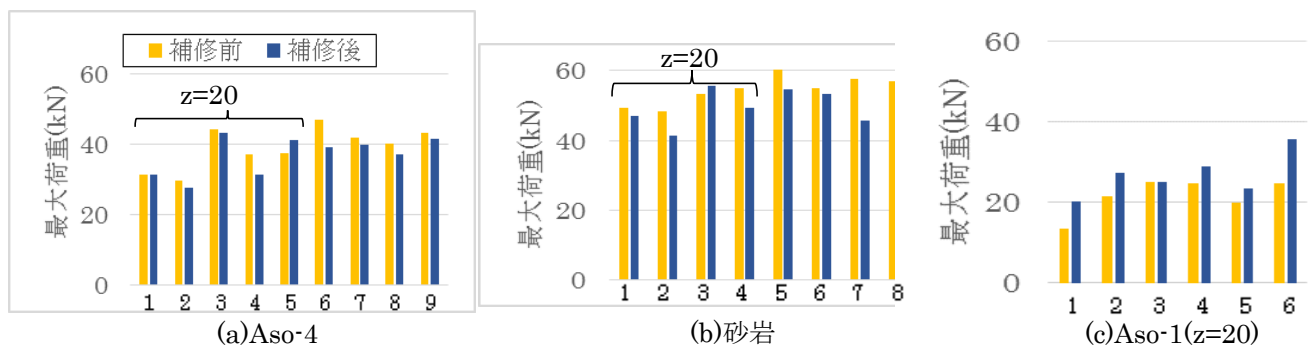


図4 補修前後の曲げ試験体最大強度の比較

両端より 350mm の位置となる．大半の供試体がこのように荷重作用点の内側で折れた．しかしながら，供試体 Aso-4 の 6 や砂岩の 5 は，図 6 に示すように補修前後の折れ位置が変化したもので，鋼棒の補修長さが足りずに，鋼棒の外側で折れてしまったケースである．このため補修後の最大強度は平均値より低くなった．つまり，補修時の鋼棒の長さは十分検討する必要があることが分かった．図 7 は補修用鋼棒に貼付したひずみの大きさと作用荷重の関係で，実験値と理論値を比較して示した．理論値は鋼棒が固着十分として平面保持を適用し，鋼棒の位置でのひずみを求めた．

図には Aso-4 の供試体 6($z=20$, $\phi 10$)の●, 2($z=20$, $\phi 10$)の■, 9($z=30$, $\phi 13$)の▲および 3($z=30$, $\phi 13$)の◆の結果である．曲げ供試体の中に入れた鋼棒に作用する実験値のひずみは，理論値によく対応し，最大強度に至るまでネジ切り鋼棒の補修効果が確認できた．図 8 は Aso-4，砂岩，Aso-1 の供試体で，鉛直荷重とはり中央部の鉛直変位の挙動関係の一例を比較して示した．図より，最初に実施した Aso-4 と砂岩の供試体の場合，最大荷重で比べると，ほぼ補修後も補修前の最大荷重に近づいていることがわかる．また，変位挙動で見ると，補修後の Aso-4 と砂岩は最大荷重後に緩やかに低下する傾向であった．これは，補修鋼棒を固着するエポキシ樹脂の粘度とも関係があると考えられ，Aso-1 ではさらに固着しやすいエポキシ樹脂を用いたことと，鋼棒の補修長さを長くした結果強度上昇ができたと考えられる．以上より，補修にネジ切り鋼棒の使用は，滑りにくくなりかつ最大荷重の上昇並びに最大荷重後の補修による急激な荷重低下を防ぐ効果があることが判明した．なお，使用鋼棒や鋼棒の配置位置，使用エポキシ樹脂と補修鋼棒の長さの算定方法が判明した．

参考文献

- 1) 山尾敏孝，他 4 名：石橋の輪石や壁石の補修・補強に用いるアンカー材の効果について，土木学会西部支部研究発表会講演概要集 (CD-ROM), VI-008, pp.853-854, 2012.3
- 2) 金子和明，他：はり部材を対象にしたアンカー棒を用いた・・・，学術講演会講演概要集 (CD-ROM), I-315, pp.620-639, 2015.9

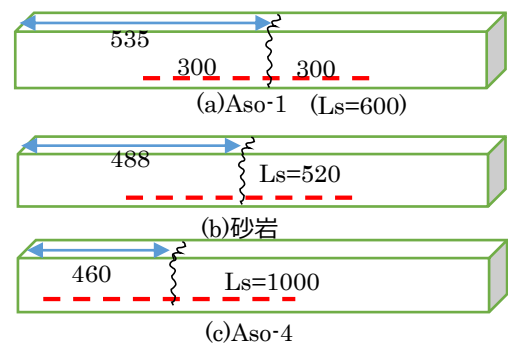


図5 補修後の折れ方の典型例

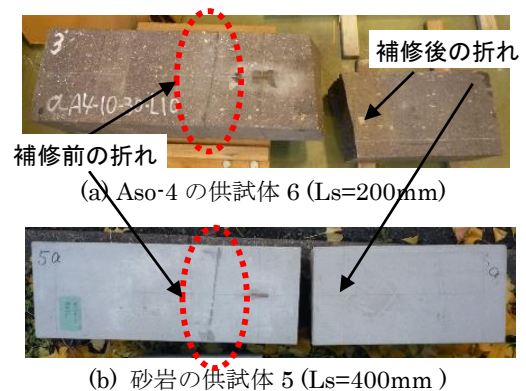


図6 補修鋼棒がない位置で折れた供試体

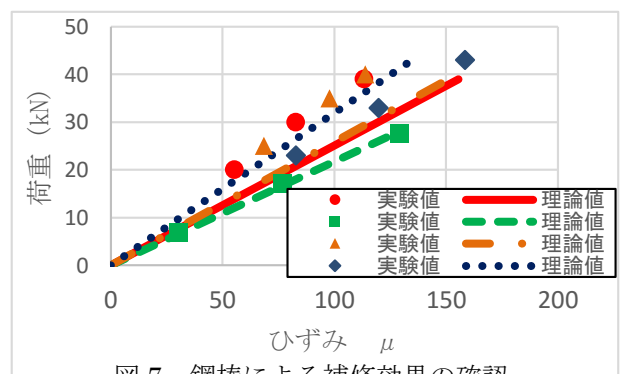


図7 鋼棒による補修効果の確認

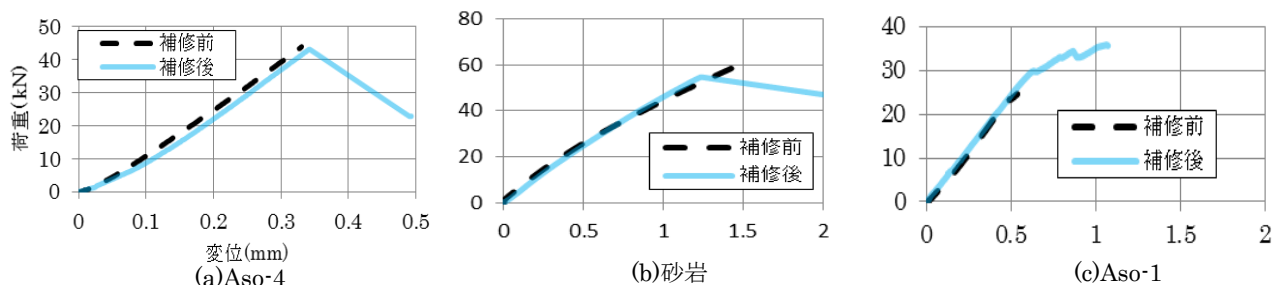


図8 鉛直荷重—鉛直変位挙動の一例