

折れた石材はりの補修方法に関する検討

熊本大学 学生員○金澤 希・霍本 将志 熊本大学 非会員 堀田 昂良
熊本大学大学院 フェロー 山尾 敏孝 (株)葵文化 荒木 祐一郎

1. はじめに

石の桁橋(写真 1)や樋門などには比較的大きな断面寸法を有する箱型断面の石材部材が使用されているが、折れや割れなどの損傷を受ける事例が発生している。このような損傷部材の取り換えには、石材の形状寸法によっては石材の入手が困難な場合があり、適切な補修による再利用が求められている^{1),2)}。本研究では、この補修を鋼棒に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。無損傷の石材部材を3あるいは4点载荷で破壊させ、その後、鋼棒による補修を実施した後、再度同じ曲げ試験を行なった。補修長さや鋼棒の配置位置を変化させ、両者の挙動や破壊強度を比較検討し、補修方法について考察した。



写真 1 祇園橋

2. 曲げ試験等の概要

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。まず、無損傷な石材はりを用い、図 1 に示すような3点载荷や4点载荷により载荷し、最大曲げ強度や変形挙動を把握した²⁾。次に図 1(b)に示すように、2つに割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、同様に曲げ試験を実施した。補修方法は、割れた石材を片側から穴を開け、割れ面を高粘度のエポキシ樹脂剤で繋ぎ、穴に鋼棒を入れ中粘度のエポキシ樹脂剤を固着した。なお、鋼棒の埋め込み位置 z は石材下面から 20mm

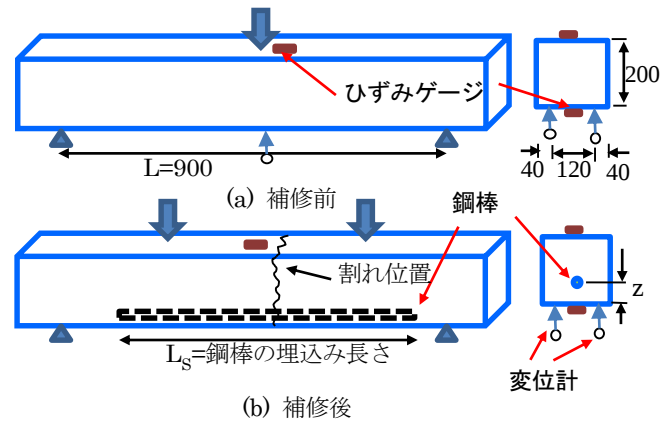


図 1 補修前と補修後の曲げ試験供試体と測定 (単位 mm)

と 30mm の2種類とした。鋼棒は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とし、直径を $\phi 10$ と $\phi 13$ の2種類を用いた。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、表 1 と表 2 に示す組み合わせで比較検討した。なお、一部の鋼棒には中央部にひずみゲージを貼付した、これらの材料特性を引張試験で求めた。なお、試験では、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。変位計とゲージの貼付位置の例を図 1 に示す。

表 1 砂岩の補修ケースと実験結果

供試体	鋼棒直径 ϕ (mm)	棒埋込み位置 z (mm)	鋼棒の埋込み長さ L_s (mm)	補修前		補修後		最大荷重時の比較 (P_a/P_b)	最大荷重時の変位の比較 (U_a/U_b)
				最大荷重 P_b (kN)	最大荷重時の変位 U_a (mm)	最大荷重 P_a (kN)	最大荷重時の変位 U_b (mm)		
1H	10	20	400(片側20 ϕ)	49.5	1.46	47.2	1.08	0.95	0.74
2V*			600(片側30 ϕ)	48.4	1.30	41.5	0.96	0.86	0.74
3V	13	20	520(片側20 ϕ)	53.4	1.37	55.5	1.23	1.04	0.90
4V*			780(片側30 ϕ)	55.1	1.46	49.4	1.07	0.90	0.73
5V*	10	30	400(片側20 ϕ)	61.4	1.52	54.7	1.24	0.89	0.81
6V			600(片側30 ϕ)	55.1	1.38	53.4	1.17	0.97	0.85
7V	13	30	520(片側20 ϕ)	57.8	1.56	45.9	1.03	0.79	0.66
8V*			780(片側30 ϕ)	57.1	1.38	45.2	0.95	0.79	0.69

表 2 Aso-4 の補修ケースと実験結果

供試体	鋼棒直径 ϕ (mm)	棒埋込み位置 z (mm)	鋼棒の埋込み長さ L_s (mm)	補修前		補修後		最大荷重時の比較 (P_a/P_b)	最大荷重時の変位の比較 (U_a/U_b)
				最大荷重 P_b (kN)	最大荷重時の変位 U_a (mm)	最大荷重 P_a (kN)	最大荷重時の変位 U_b (mm)		
1H	10	20	1000(全長補強)	31.3	0.26	31.2	0.27	1.00	1.03
2V*			400(片側20 ϕ)	29.6	0.30	27.6	0.28	0.93	0.94
3H*			400(片側20 ϕ)	44.2	0.33	43.1	0.34	0.98	1.03
4V	13	20	1000(全長補強)	37.0	0.34	31.3	0.26	0.85	0.77
5H			1000(全長補強)	37.5	0.27	41.3	0.32	1.10	1.19
6V*			200(片側10 ϕ)	46.8	0.40	39.1	0.32	0.84	0.80
7V	10	30	400(片側20 ϕ)	41.8	0.35	39.8	0.31	0.95	0.89
8V			520(片側20 ϕ)	40.0	0.33	37.0	0.32	0.93	0.97
9V*			260(片側10 ϕ)	43.2	0.36	41.5	0.34	0.96	0.95

3. 試験結果と考察

曲げ試験に使用した石材の堆積方向 V と堆積層方向 H の一軸圧縮強度試験を行なった。得られた最大圧縮応力度は、Aso-4 で V が $76.6(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、H が $78.5(\text{N}/\text{mm}^2)$ で、砂岩は V が $89.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ 、H が $88.9(\text{N}/\text{mm}^2)$ であった。砂岩は比較的強度が大きい石材である。ヤング率は、Aso4 は堆積方向が $18.1(\text{kN}/\text{mm}^2)$ で、堆積層方向で $26.7(\text{kN}/\text{mm}^2)$ 、砂岩は堆積方向が $7.4(\text{kN}/\text{mm}^2)$ で堆積層方向が $10.1(\text{kN}/\text{mm}^2)$ となった。Aso-4 の方が大きく、いずれも堆積層方向のヤング率が大きくなった。次に、補修に使用した鋼棒の引張試験を行い、ひずみゲージを鋼棒の上下縁に貼付し、鋼棒に作用するひずみを計測した。ゲージ付着の鋼棒はネジ切り部を削ったため、断面寸法が小さくなった。その結果、最大荷重は $\phi 10$ で及び $\phi 13$ 鋼棒とも 1 割程度小さくなった。

Aso-4 と砂岩供試体で、鋼棒による補修前後の曲げ試験の最大荷重と最大荷重時のより中央部の鉛直変位を表 1 と表 2 にまとめて示した。なお、供試体の添字の*は、鋼棒にひずみゲージを貼付した供試体である。表より、補修後の最大荷重は補修前と比較して平均すると、Aso-4 では約 95%，砂岩では約 90% であった。鋼棒の配置位置で最大荷重を比較すると、石材下面から 20mm に配置する方が約 94%，97%，30mm の場合の約 86%，92% に比較して、Aso-4 および砂岩あるいは鋼棒径によらず大きくなり、鋼棒による補修位置としてほぼ満足する結果となった。また、鋼棒の直径の差はあまりなく、補修前後の最大荷重の割合を比べると $\phi 10$ では約 93%， $\phi 13$ では約 92% であった。しかしながら、供試体によっては平均値からかなり低い結果の供試体がある。例えば、供試体 Aso-4 の 6V や砂岩の 5V は、図 2 に示すように補修前後の折れ位置が変化したもので、鋼棒の埋込み長さが足りずに、鋼棒の外側で折れてしまったケースである。図 3 は補修用鋼棒に貼付したひずみについて、実験値と理論値を比較したものである。

砂岩の供試体 2V($z=20, \phi 10$)、4V($z=20, \phi 13$) および 8V($z=30, \phi 13$) の結果で、今回調べた 3 つの代表的な補修ケースである。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ており、最大強度に至るまで鋼棒による補修の効果が発揮されていることが確認できた。

荷重-変位挙動を見ると、表 1 や表 2 には補修前後での最大荷重時の鉛直変位を、図 4 には砂岩の変位挙動を比較して示した。最大荷重と比べると、砂岩では全平均は 77% で、Aso-4 では 95% となり、砂岩が Aso-4 に比べて小さくなった。また、図 4(a) に示すような最大荷重後に緩やかに低下する荷重-変位挙動はほとんどであったが、図 4(b) のように、一度低下した後再び荷重上昇の供試体もあった。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後の、ひずみの値が大きく出てアンカー鋼棒による補修の効果が出ていることがわかった。そのため補修後は割れた急激な荷重低下を防ぐ効果がある

ことが判明した。しかし、部材の折れる位置によっては、補修時の鋼棒の長さが足りない供試体もあったことから、石材はりの中央付近まで鋼棒を配置するなど対応する必要があることが分かった。なお、他の石材を用いて実験結果との比較検討については当日発表予定である。

参考文献

- 1) 山尾敏孝, 藤田千尋, 荒木祐一郎, 中村秀樹, 藤本正, 高橋竜太郎, : 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.629-630, 2015.9

表 3 鋼棒の引張試験結果

径	ゲージ	断面寸法 (mm)	最大荷重(kN)
$\phi 10$	無	9.6	36.35
	有	6.98	31.8
$\phi 13$	無	12.55	64.88
	有	9.35	58.1

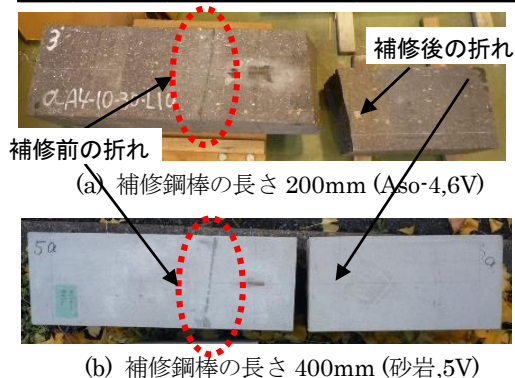


図 2 補修鋼棒がない位置で折れた供試体

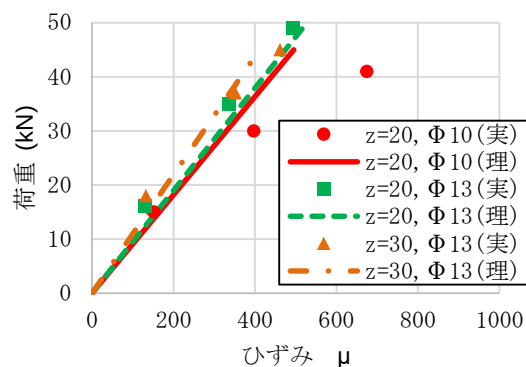


図 3 砂岩の補修鋼棒の荷重-ひずみ関係

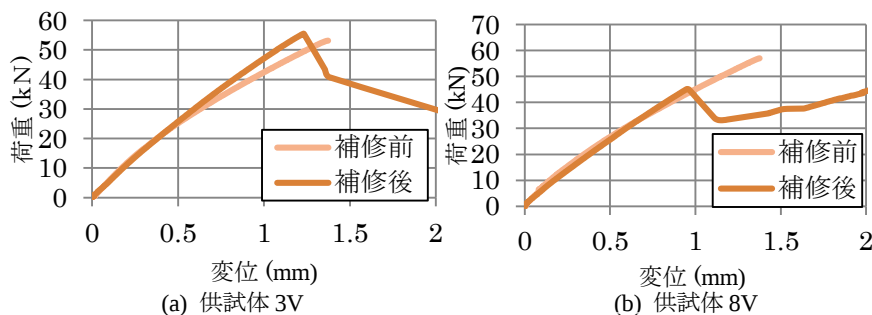


図 4 補修前後の荷重-鉛直変位関係(砂岩)