

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

熊本大学大学院 フェロー○山尾 敏孝, 学正員 藤田千尋
(株)葵文化 荒木 祐一郎 (株)建設プロジェクトセンター 中村 秀樹
(株)東光コンサルタンツ 藤本 正, 高橋 竜太郎

1. はじめに

熊本県の道路橋として供用中の石橋には、架設後100年以上も経過した古い橋やアーチ形状が非対象なもの、輪石、壁石に変形・損傷等が見られ、補修補強を行っている橋梁も数多く存在する。石橋の補修工法には、主に鋼部材やコンクリートで固定する工法もしくは、積み替えが主な工法である。しかし、前者は石橋の特性である『フレキシブル性』を失うこととなり、石橋本来の姿を残すことができない工法であり、後者においては莫大な費用と時間が必要となる工法である。対象とする橋梁が地域の歴史的・文化的な価値のある石橋であり、輪石の開きや壁石の孕み等の損傷、中詰め材の流出がある場合、文化財的な価値を維持しつつ、かつ石橋の基本構造を保つ維持補修が必要となる。そこで、このようなケースでは『ステンレスアンカーによる抑制工法』の採用が過去の事例により最適と判断したが、工法自体実績も少なく、アンカー径、本数、定着長の規定が確立されていないのが現状である^{1),2)}。このような背景から本研究では、今後、長寿命化の観点から維持管理が必要な石橋が増加することが予想されるので、ステンレスアンカーを用いた補修設計をする上で何らかの基準が必要であると考え、設計規定の確立を目的に実験・検討を行ったものである。

2. 石材の圧縮強度試験と割裂引張強度試験とその結果

使用した石材は山鹿地方で採取された鍋田石(阿蘇溶結凝灰岩で Aso-4 と推定)である。圧縮強度試験³⁾と割裂引張試験(写真 1)に使用した供試体は、堆積方向に成形したヨコ供試体 3 本と堆積方向とは直角方向、つまり堆積層方向に成形したタテ供試体 3 本を使用した。

表 1 と表 2 は圧縮強度試験と割裂引張強度試験のそれぞれの結果を示した。最大圧縮強度の平均値は、堆積層方向が堆積方向よりも大きくなった。通常は堆積方向の圧縮強度が大きくなるが、この要因についてはさらに検討が必要と思われる。また、ポアソン比は横方向が縦方向の半分であった。一方、割裂引張強度試験の結果は、「JIS A1113 コンクリートの割裂引張強度試験方法」³⁾を準用し、供試体が破壊した時の試験機の最大荷重を読み取り、次式により引張強度 f_t の算出した。

$$f_t = \frac{2P}{\pi dL} \quad (1)$$

ここに、 P は最大強度、 d は供試体の直径、 L は供試体の長さである。割裂引張強度試験の結果は、堆積層方向が $2.17(\text{N/mm}^2)$ で、堆積方向の $2.46(\text{N/mm}^2)$ であった。圧縮強度に比較すると $1/14$ から $1/28$ とかなり小さくなった。

図 1 は圧縮応力と軸方向のひずみ関係を示したもので、これより石材のヤング率を算出した。図より、ヤング率は堆積層方向と堆積方向に明確な違いが表れた。堆積層方向のヤング率の平均値は、 $2.3(\times 10^4 \text{N/mm}^2)$ で、堆積方向の平均値は $0.74(\times 10^4 \text{N/mm}^2)$ であった。既往の研究より、圧縮強度とヤング率にはかなり大きな相関があることから、堆積方向と堆積層方向にはあまり依存しないと思われる。今後、さらにデータを増やして検討する必要があると思われる。



写真 1 割裂引張強度試験

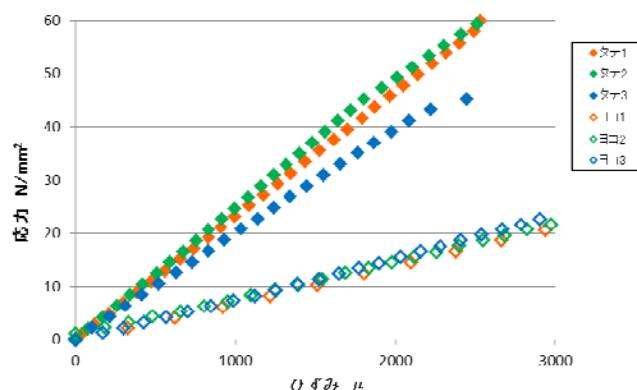


図 1 一軸圧縮応力と軸ひずみの関係

表 1 一軸圧縮強度試験結果

		d(mm)	h(mm)	w(g)	最大荷重		ポアソン比
					(kN)	(N/mm ²)	
タテ	1	55.8	111.8	537.6	146.7	60	0.2
	2	55.8	111.8	541.9	159.5	65.2	0.25
	3	55.8	111.9	530	111.7	45.7	0.27
平均		55.8	111.8	536.5	139.3	60	0.24
ヨコ	1	55.8	111.5	498.5	83.5	34.1	0.11
	2	55.7	111.9	502.1	69	28.3	0.13
	3	55.7	111.9	515.2	98.5	40.4	0.12
平均		55.7	111.7	505.3	83.7	34.3	0.12

表 2 割裂引張強度試験結果

		d(mm)	h(mm)	w(g)	最大荷重		引張応力度
					(kN)	(N/mm ²)	
タテ	1	100.3	199.9	3228.7	81	2.57	
	2	100.2	199.7	3199.8	46.5	1.48	
	3	100.3	199.9	3167.3	77.5	2.47	
平均		100.3	199.8	3198.6	68.3	2.17	
ヨコ	1	100.1	199.9	2999.7	77.5	2.47	
	2	100.2	199.4	3019	100	3.19	
	3	99.9	199.5	3035.6	53.7	1.72	
平均		100.1	199.6	3018.1	77.1	2.46	

3. 鋼材の引張強度試験及びアンカー引抜強度試験とその結果

アンカーに使用する鋼材の引張試験およびアンカー引抜強度試験を次に行った。使用した鋼材は、鋼材の直径がφ10、φ13、φ16およびφ22の各2本とした。使用したアンカー鋼材は、写真2に示すように、鋼材にねじ切りを施してあるため、今回の引張試験では万能試験機に40cmの長さに鋼棒を切断したものを供試体とし、そのまま簡易的に試験を行った。これは鋼材の最大引張強度を得るために行った。また、アンカー鋼材の引抜強度試験は、石材（200×200×250mm）とし、これにアンカーの埋込み長さを5Dまたは10D（Dは鋼棒の直径）としてエポキシ樹脂で埋め込んで製作した(写真2参照)。また、使用した石材は堆積層方向と堆積方向の各1個とした。なお、使用したアンカー用の石材の穴の大きさは、φ28程度と一定とした。

表3は試験に使用した4種類のアンカー鋼材の引張試験結果を示したもので、引張荷重にはバラツキがあった。

図2はアンカー鋼材のφ10からφ22までの埋込み長さ5Dと10Dのアンカー引抜強度の関係を示したものである。図からわかるように、アンカー鋼材の埋込み長さが5Dではエポキシ樹脂による接着強度が十分なため、いずれの供試体も石材の破壊で最大強度が決定され、鋼材の最大強度より小さくなっていることがわかる。写真3は5Dと10Dの供試体の破壊後の状況を示すが、その相違がよくわかる。一方、埋込み長さが10Dの場合には、φ10からφ16までは鋼材の破断で最大強度が決まっており、2つ以上の石材を繋ぐ場合やアンカーとして使用する場合、アンカーの埋込み長さとしては十分と思われる。

表3 アンカー鋼材の引張試験結果

径	長さ(m)	最大荷重 (kN)	断面積 (mm ²)	引張応力度 (N/mm ²)
φ10	0.4	42.25	78.54	537.9
		46.7	78.54	594.6
φ13	0.4	70.3	132.73	529.6
		64.3	132.73	484.4
φ16	0.4	98	201.06	487.4
		99.8	201.06	496.4
φ22	0.4	173	380.13	455.1
		232.2	380.13	613.5



写真2 アンカー引抜き試験供試体



(a) 5D (b) 10D

写真3 供試体の破壊状況

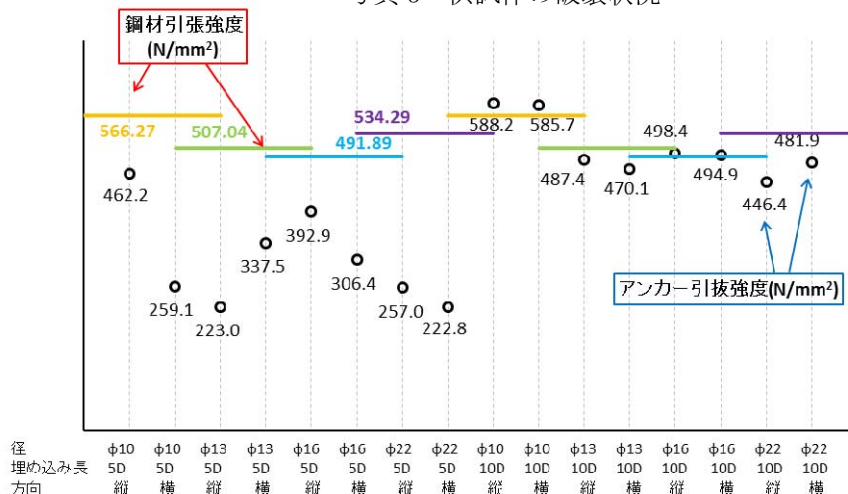


図2 鋼材引張強度とアンカー引抜強度の関係

4. まとめ

今回の実験より得られた主な事項及び課題を挙げると以下のようである。1) アンカー鋼材の埋込み長さは5Dではいずれのアンカー鋼棒でもエポキシ樹脂による接着強度が十分なため、アンカー部分の石材破壊で最大強度が決定され、鋼材の最大強度より小さくなった。2) 10Dの場合には、φ10からφ16までは鋼材の破断で最大強度が決まり、2つ以上の石材を繋ぐ場合やアンカーとして使用する場合、10D以上あればアンカーの埋込み長さとしては十分耐力があった。なお、石材方向による強度差はほとんどなかった。3) 課題として、最大圧縮強度の平均値では、堆積層方向が堆積方向よりも大きくなったので、今後この要因の解明が必要である。

以上の結果より、石橋のアーチ石や壁石の補修や補強にアンカー材を使用する場合の留意点等を述べる。なお、今後さらに他の石材についても実験し、破壊メカニズムの解析等で検討すればより設計法の改善が望める。

1) アンカー用の石材の穴はφ28程度で、使用するアンカー鋼棒の径と強度および使用するエポキシ樹脂の充填効果やコストを考慮する。2) 実際の工事に使用するアンカー鋼棒はφ13あるいはφ16を用い、鋼材アンカーの深さとして10D以上であれば十分な強度を確保できる。3) アンカーの深さを10D以上とした場合、石材の残りの深さも考慮する。

参考文献：

- 岡田恒男 他：あと施工アンカー「設計と施工」、技術書院、1990.5
- JCAA 設計委員会：あと施工アンカー設計指針(案)・同解説、2005.5
- 土木学会：コンクリート標準示方書 基準編、2010年制定