

# 石造構造物を対象とした接着アンカーの引張耐力に関する実験的研究

熊本大学大学院 正会員 ○佐々木 大輔  
徳島大学大学院 正会員 森山 仁志  
熊本大学 フェロー会員 山尾 敏孝

熊本大学大学院 正会員 松村 政秀  
熊本高等専門学校 正会員 岩坪 要

## 1. 研究背景および研究目的

石橋の高欄や石灯籠などの柱状石造構造物は、地震時の倒壊や経年劣化による部材の割れといった損傷が報告されている。文化的価値を損なわない補強方法として、接着アンカーによる補強が考えられるが、アンカー補強部の力学挙動は解明されておらず、設計法は確立されていない。本研究では、石造構造物を対象としたアンカー工法の確立を目標に、引抜実験を行い、補強部の力学挙動を調査した。

## 2. 引抜実験

供試体の形状寸法を図-1に示す。供試体には、一辺 300mm の立方体形状の砂岩 ( $\sigma_c=62\text{MPa}$ ) を使用し、実験パラメータは、アンカー埋込長  $L$  ( $=48$  (3d),  $80$  (5d),  $112$  (7d),  $128$  (8d),  $144\text{mm}$  (9d), アンカー径  $d$ : 16mm), 孔径  $d_h$  ( $=20$  (d+4),  $25$  (d+9),  $30\text{mm}$  (d+14)) とした。また、石材の種類の影響を確認するために、一辺 250mm の凝灰岩 ( $\sigma_c=26\text{MPa}$ ), 花崗岩 ( $\sigma_c=225\text{MPa}$ ), 安山岩 ( $\sigma_c=94\text{MPa}$ ) を追加した。埋込長は  $80.64\text{mm}$  とし、治具内径  $d_i$  と埋込長  $L$  の比  $d_i/L$  は 1.56 に調整した。この比率は砂岩の  $L=128\text{mm}$  (8d) のケースと統一している。図に示すとおり、反力治具上のセンターホール型油圧ジャッキにより約  $0.1\text{kN/s}$  の速度で載荷を行い、荷重  $P$ , 引抜変位  $\delta$  を計測した。

## 3. 実験結果

コーン破壊+付着破壊の連成破壊が生じた供試体の付着破壊領域の様子を図-2に示す。同図より、砂岩、花崗岩、安山岩のような一軸圧縮強度が比較的大さい石材では、付着破壊面がアンカーボルトとエポキシ樹脂の境界面で、凝灰岩のような比較的小さい石材では、エポキシ樹脂と石材の境界面で発生していることが確認された。既往の研究<sup>1)</sup>において、コンクリートに施工した接着系あと施工アンカーの引抜実験では、母材コンクリート強度の増加に伴い樹脂とコンクリート界面の付着破壊から鉄筋と樹脂界面の付着破壊に変化しており、本実験の結果は、コンクリートと同様の傾向であると考えられる。

埋込長  $L$  と載荷後に計測した付着破壊領域の長さ  $L_p$  の関係を図-3に示す。同図より、埋込長  $L$  に比例して付着破壊領域の長さ  $L_p$  は増加する傾向が確認された。両者の関係は式(1)で表すことができ、この式を用いることで事前に付着破壊長さ  $L_p$  を概ね推測できると考えられる。

$$L_p = 1.0492L - 58.705 \quad (1)$$

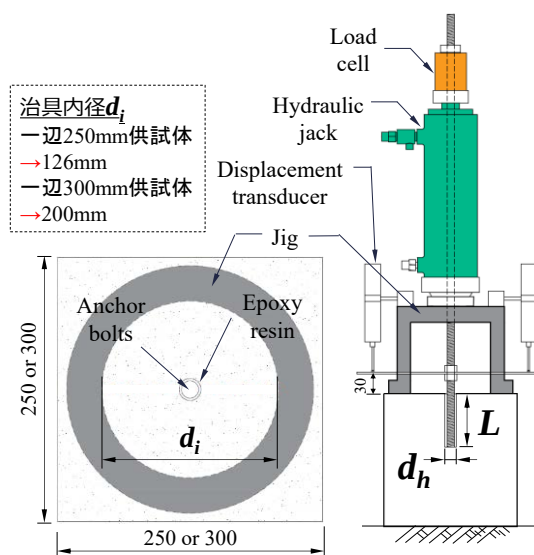


図-1 供試体形状および載荷方法 (単位: mm)

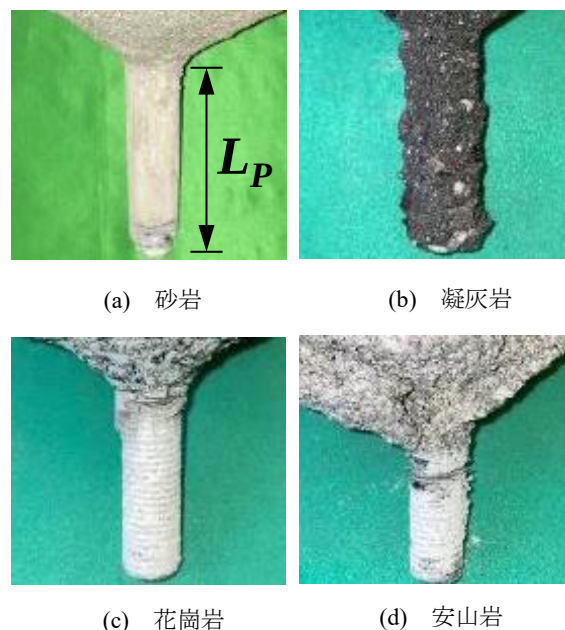
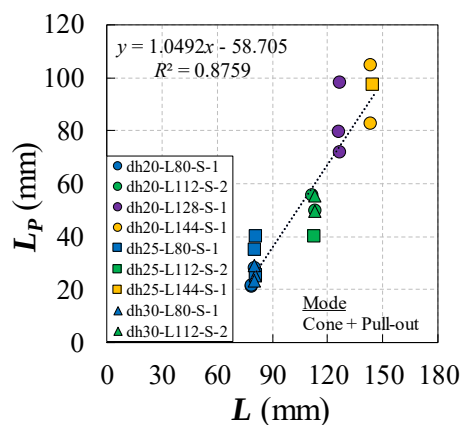


図-2 付着破壊面の様子

キーワード 石造構造物, 接着アンカー, 引抜実験

連絡先 〒860-8555 熊本市中央区黒髪 2-39-1 熊本大学大学院自然科学研究科 TEL:096-342-3532

図-3  $L_p$ - $L$  関係

アンカー補強部の引抜耐力  $P_{ud}$  の検討を行う。想定破壊モードは図-4 の通り、アンカーの降伏、石材のコーン破壊、接着面の付着破壊、コーン破壊と付着破壊の連成破壊の 4 つとし、アンカーの降伏耐力、付着破壊耐力は文献 2) 記載のコンクリート構造用設計指針式を準用する。石材のコーン破壊耐力と連成破壊耐力は記載がないため、実験結果から導出したものを用いる。各モードの引抜耐力  $P_{ud}$  は式(2)～(5)で計算され、各式で算出した値のうち最小値を設計耐力とする。

$$P_{yad} = \sigma_{ya} A_a \quad (2)$$

$$P_{pad} = \tau_a \pi d L \quad (3)$$

$$P_{cmd} = 0.18 \sigma_c^{0.56} (\pi L (L + d)) \quad (4)$$

$$P_{C+P} = 0.18 \sigma_c^{0.56} \{ \pi L_C (L_C + d) \} + \tau_a \pi d L_P \quad (5)$$

ここに、 $P_{yad}$ ：アンカーの降伏耐力、 $\sigma_{ya}$ ：アンカーの降伏点、 $A_a$ ：アンカー断面積、 $P_{pad}$ ：付着破壊耐力、 $\tau_a$ ：接着系アンカーの付着強度、 $d$ ：アンカー径、 $L$ ：埋込長、 $P_{cmd}$ ：コーン状破壊耐力、 $\sigma_c$ ：石材一軸圧縮強度、 $L_C$ ：コーン破壊長さ、 $L_P$ ：付着破壊長さである。

既往の引抜実験データ<sup>3)</sup>を用いて導出した式による強度、破壊モードの精度検証を行う。石材の引抜実験に関する実験値  $P_{max}$  と、式(2)～(5)から算出した計算値  $P_{ud}$  を比較した結果を図-5 に示す。同図より、実験値と計算値は概ね一致しており、文献 2) の指針式に式(4)、(5)を加えることで実破壊モードおよび最大荷重を精度よく推定できる。

#### 4. 結論

本研究で得られた結果を以下にまとめる。

- 1) 連成破壊における付着破壊は、石材の一軸圧縮強度  $\sigma_c$  が比較的小さい場合は石材とエポキシ樹脂界面で、 $\sigma_c$  が比較的大きい場合はアンカーと接着剤界面で発生しており、コンクリートの接着系あと施工アンカーと同様のメカニズムを確認できた
- 2) 実験結果より導出した石材コーン破壊式および連成破壊式を新たに加えた引抜耐力の精度評価は、既往の設計指針式よりも最大荷重を精度よく推定できた。

#### 謝辞

本研究は JSPS 科研費 20K04665 を受けて行いました。ここに記して感謝の意を表します。

#### 参考文献

- 1) 塩畑英俊, 野島昭二, 林和彦：あと施工アンカーの耐力に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文集, Vol. 32, No. 2, pp.625-630, 2010.
- 2) 日本建築学会：各種合成構造設計指針・同解説, 2010.
- 3) L. Contrafatto, R. Cosenza: Behaviour of post-installed adhesive anchors in natural stone, *Constr. Build. Mater.*, Vol.68, pp.355-369, 2014.

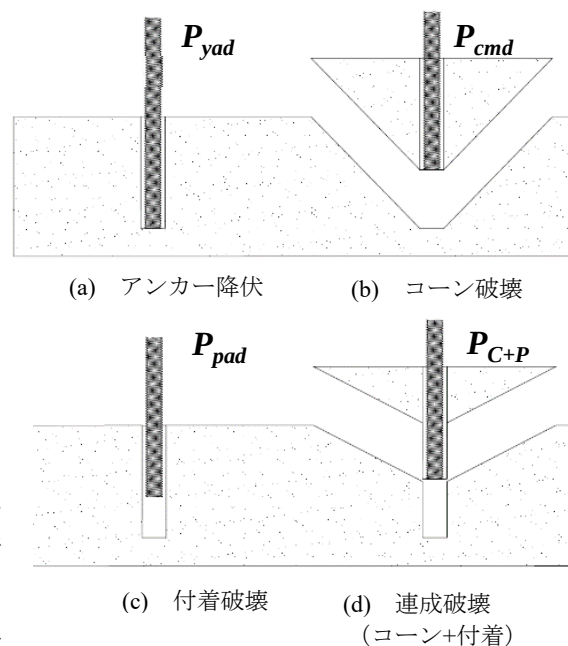


図-4 想定破壊モード

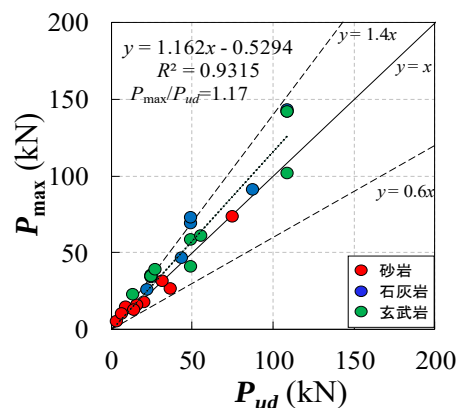


図-5 石材引抜実験に関する実験値と計算値の比較