煉瓦積みトンネル覆工におけるあと施工アンカーの適用性に関する実験

財）鉄道総合技術研究所　正会員　○ 栗林健一，岡野法之，仲山貴司，小島芳之

１．目的

鉄道トンネル全数（新幹線除く）のうち約 1/3 は，煉瓦等で組積されたブロック積みトンネルである．その多くは明治・大正に建設され，経年劣化等の変状が確認されている．変状対策工法の多くで，あと施工アンカー（以下アンカー）が用いられているものの，定量的な評価により設計を行っていない場合が多い．そこで本研究では，設計法の確立を目的とし，煉瓦積みトンネル覆工におけるアンカーの適用性に関する実験を行った．

２．実構造物の物性値

適切な対策設計を行うには，母材の物性値を把握する必要がある．そこで明治時代に建設された 22 ヶ所の煉瓦構造物（トンネル・橋梁）より試験体を採取し，強度試験を行った結果[1)]を元に物性値の評価を行った．

図 1 は採取試験体の圧縮強度と吸水率の関係を示す．既設煉瓦構造物の物性値は，圧縮強度で 5～15N/mm2，吸水率で 10～20%であることが確認された．また市販されている煉瓦 A が実構造物を代表する物性値を示したことから，本研究では煉瓦 A を試験体としたアンカー実験を行った．**図 2** は既設煉瓦トンネルの部位ごとの物性値を示す．1 層目と 2 層目以降の物性値の比較，またアーチと側壁部の物性値の比較から，部位の違いによって物性値に大差はないと考えられる．**図 3** は，本実験で用意した数種類の煉瓦やコンクリートについて，圧縮強度と静弾性係数について試験を行った結果を示す．また図中に示す普通コンクリートは一般的な静弾性係数の値[2)]である．コンクリートに比べ煉瓦は 1/2 程度の静弾性係数の値を示した．

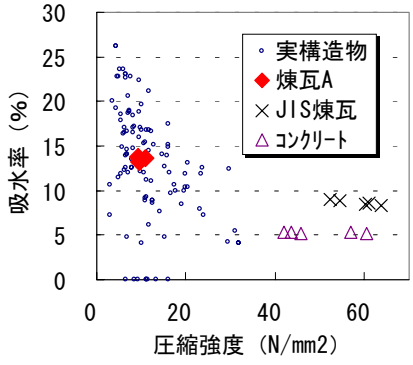

図 1　実構造物の物性値

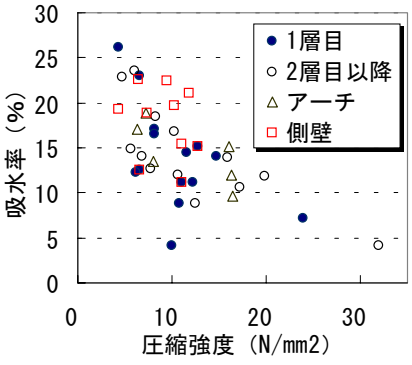

図 2　部材ごとの物性値

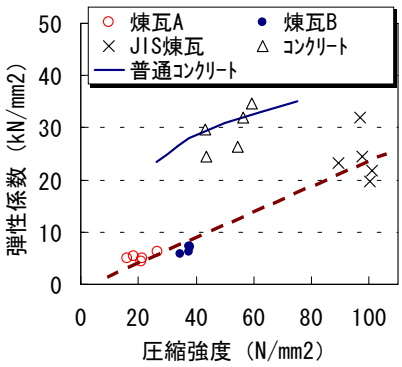

図 3　煉瓦の静弾性係数

３．単体試験体の試験結果

煉瓦単体（210mm×100mm×60mm）にアンカーを定着し，ジャッキを用いて引抜試験を行った．試験体には，圧縮強度が異なる 3 種類の煉瓦に加え，同形状のコンクリートとモルタルを用意した．使用アンカーには金属アンカーと樹脂アンカーの 2 種類を用意した．また図中に示す設計荷重は，アンカー既存手引き[3)]でコンクリート用に提案されている設計式より算出を行ったものである．**図 4** に試験結果の一例を示す．

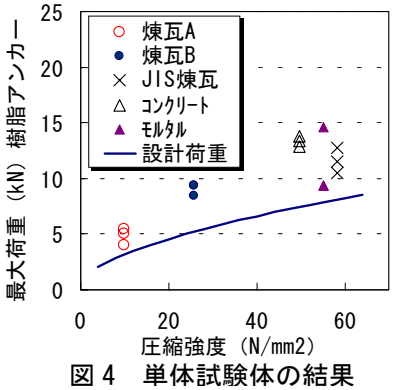

図 4　単体試験体の結果

母材の種類に関わらず，母材の圧縮強度が大きくなるにつれ最大荷重が増加し，また既存設計式を用いてアンカーの最大荷重を評価できることを確認した．金属アンカーも同様な傾向を示したが，樹脂アンカーに比べ，試験結果にバラツキが生じた．金属アンカーはその底部の拡張部からコーン状に破壊するため，樹脂アンカーに比べて破壊面積（最大荷重）が大きい．一方で拡張部周辺のみの母材状態の影響を受け易いため，全面定着の樹脂アンカーに比べて，最大荷重にバラツキが生じやすいと思われる．

キーワード　煉瓦，トンネル，あと施工アンカー，維持管理，補修設計

連絡先　〒185-8540 国分寺市光町 2-8-38　　TEL 042-573-7266・FAX 042-573-7248

４．複合試験体の試験結果

目地の影響を確認するために，煉瓦と目地材を組み合わせた複合試験体を用いて引抜き試験を行った．複合試験体（図 5）は，幅 656mm 奥行き 480mm の 2 層積み構造とし，実トンネルの自重による圧縮応力を模擬する目的から，PC 鋼棒を用いて軸力の導入を行った．

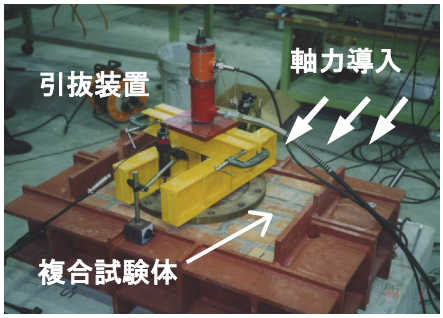

図 5　複合試験状況

図 6 に試験体の構成（単体および複合）をパラメータとした試験結果を示す．それぞれ金属アンカーを使用したが，その定着深さやアンカー径は異なる．また図中に示すそれぞれの設計値は，既存設計式より算出した値を示す．同図より，双方の引抜荷重ともに既存設計式による値に比べて大きな値を示した．特に，複合供試体での引抜荷重は，設計値に比べて 5 倍以上の値を示したことから，目地が健全な実構造物に既存設計式を適用した場合は，かなり安全側の設計となる．

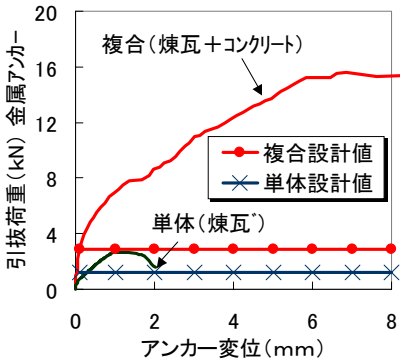

図 6　単体と複合試験体

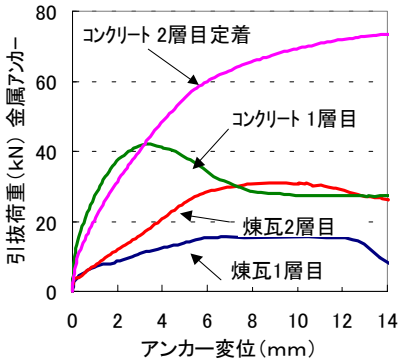

図 7　母材および定着層

図 7 に定着深さと母材種類をパラメータとした試験結果を示す．それぞれ金属アンカーを使用した．同図より，母材がコンクリートの場合に比べ，煉瓦の場合は，最大荷重と荷重-変位曲線の傾きが小さいことが分かる．これは母材の強度と弾性係数の影響が考えられる．また定着深さに応じて引抜荷重が異なることも確認された．破壊状況はコンクリートがコーン状破壊に対し，煉瓦は目地と母材煉瓦の境界に沿って破壊している場合が多かった．

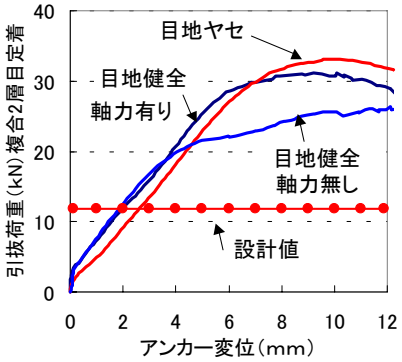

図 8　目地および軸力

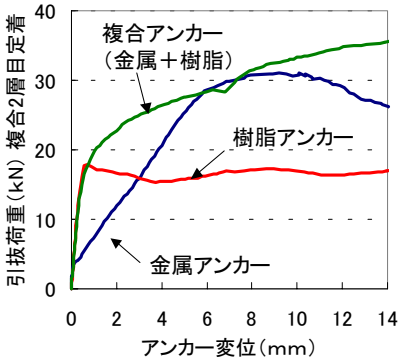

図 9　アンカー種類

図 8 に軸力の有無と目地状態をパラメータとした試験結果を示す．それぞれ金属アンカーを 2 層目に定着した．軸力が導入されない場合でも既存設計値に比べ大きな値を示した．また今回の実験結果では目地ヤセの影響は確認されなかった．

図 9 にアンカーの種類をパラメータとした試験結果を示す．それぞれのアンカーの定着層（定着深さ）と径は同じである．ここで複合アンカーの定着方法は，通常の金属アンカー底部の拡張定着に加え，樹脂による全面定着も行う．同図より，複合アンカーは，金属アンカーの引抜耐力と，アンカー変位が小さい樹脂アンカーの特徴を併せ持った結果となったことから，最大荷重が大きくバラツキが少ないアンカーと思われる．

５．まとめ

本研究により，煉瓦トンネル覆工におけるアンカーの設計は，母材の種類や形状および状態またアンカーの種類に関わらず既存設計式を用いて評価できることが明らかとなった．今後は，これらの設計法について実地試験により検証を行い，煉瓦トンネルへのアンカー適用についてさらに考察を深める予定である．

また本研究を行うにあたり，㈱ケー・エフ・シー　竹本様，加藤様のご協力を得た．ここに記して深甚の謝意を表します．

参考文献

1）コンクリートコア及びレンガの試験　鉄道技術研究所　1959. 9
2）コンクリート標準示方書[構造性能照査編]　pp28-29　土木学会　2002. 3
3）あと施工アンカー工法設計施工の手引き　鉄道総合技術研究所　1987. 9