

4.4 大口径・高耐圧布パッカーの技術開発に関する研究

研究年度：平成30年度～令和元年度

研究分野：ダムの改造・再開発に関する調査研究

調査研究名：大口径・高耐圧布パッカーの技術開発に関する研究

研究者：川崎秀明*、梅園拓磨

【要約】

ダム用のアンカーは大容量と長尺を特徴とするが、これらに必要な200mm以上の大口径かつ高耐圧の布パッカーについては市中に製品が無い。そこで、民間との共同研究によって、大口径かつ高耐圧の布パッカーの実用化を行った。共同研究は、平成30年度から進められ、各種試験によって、漏れのない端部取付技術の確認とともに、アンカー孔への挿入時の擦れによる布の摩耗対策等を検討・実施してきた。昨年度の実験では、既往の実験で端部対策としての効果を確認したスパーサーを設置し、改良した試験体で挿入時の損傷度およびグラウト止め性能を確認した。

当技術開発による布パッカーは、現在、川俣ダム岩盤PSアンカー（一部）と千本ダム堤体PSアンカーに採用され、施工されている。

【キーワード】

布パッカー、アンカー、大口径、高耐圧、共同研究

【背景・目的】

パッカーとは、アンカーの定着長上端に設置して定着長部を形成するためのグラウト止めである。従来のパッカーには、ルジオン試験にも用いられる鋼製ゴムパッカーと布パッカーがあり、前者は水密性が高いが重量大、高価という問題がある一方で、後者は軽量、安価だが高圧では漏れやすく、径165mmまでの製品しかないという問題があった。

そこで、本技術開発では、大林組とダム技術センターの共同研究の下に、大口径200mm以上、高耐圧2.0MPa以上を目標として布パッカーを開発することとした。なお、削孔径165mmを超える大口径用の袋体は、製品も実績も無いため、高強度繊維による袋体縫製の可能なメーカーを探して実寸大の袋体を試作した。

【研究経緯】

◎平成29年度（基本性能試験）

片端固定高強度袋体による定着体用のノンリークパッカー（製品名ハイパックアンカー）として実績のあるアラミド繊維について、メーカー（新技術工営株）が両端固定タイプ布パッカーとして改良して自主的な工場内試験を行った。試験にはダム技術センターが立ち会った。

・目的： アラミド繊維袋体（膨らみ径200mm及び250mm）を用いた両端固定によって布パッカーの基本性能を確認する。

・試験日時： H29年6月、8月及びH30年3月

・場所： 福岡県小郡市の製品メーカー工場

<試験結果の概要>

① H29年6月、8月： アラミド繊維縫製の袋体（削孔径165mm用、膨らみ径200mm）の両端をスパンシールと帯鉄で固定した布パッカーによる基本性能試験において、当袋体はグラウト止めパッカーとして使用性が高いことを確認した。

② H30年3月： 実寸法に合せたアラミド繊維による袋体（削孔径216mm用、膨らみ径250mm）を用いた簡易な予備試験（自由膨張試験）を行い、寸法増による問題は特になことを確認した。

◎平成30年度（技術開発全体）

高強度・大口径の布パッカーの技術開発について、(株)大林組とダム技術センターの共同研究が締結され、自主的な工場内試験を行った。布パッカーの生地は、アラミド繊維、新開発の高強度ポリエチレン繊維（イザナス）等が選ばれ、実寸大の工場試験を行い、安全性（耐圧性等）と機能性（グラウト止め機能等）を確認した。同時に、布パッカー本命案に対する施工性（端部形成の手間、重量等）と経済性（価格、材料調達性等）を確認した。

◎布パッカー装着試験（平成30年度5月）

共同研究： 高強度ポリエチレン繊維袋体（削孔径216mm用、膨らみ径250mm）を用いて端部固定方法を変えたグラウト注入試験を実施して、布パッカーの装着性能を比較した。（場所：茨城県猿島のN社工場）

結果： 袋体の端部を6種類の固定方法で縛った布パッカーへのグラウトの加圧注入による膨らみ性能、グラウトしみ出し状況等から袋体端部の固定方法を比較し、いずれも基本性能に問題ないことを確認した。その中で施工性を考慮して、Case2, 5の端

部固定方法を選定した。両者の違いは、Case5 が端部 2 ヶ所固定に対して、Case2 が端部 1 ヶ所固定としたことで施工性、挿入性を改良したことにある。

◎グラウト注入試験（平成 30 年度 6 月）

共同研究： 前述の装着試験において選定した 2 つの端部固定方法（高強度ポリエチレン繊維袋体）と基本性能試験使用のアラミド繊維袋体を用いてグラウト注入試験を実施し、布パッカーのグラウト止め機能を確認した。両繊維とも膨らみ径 250mm とした。（場所： 茨城県坂東市猿島の N 社工場）

試験結果： 以下の通りで、布パッカーC が妥当と判断された。袋体の注入圧が最大 0.25MPa 以下（瞬間圧最大 0.5 MPa；脈動を考慮）であれば高圧力に十分耐えることと、グラウト止め機能の確実性も問題無い。

表-1 布パッカー比較評価

評価ケース	布パッカーA (アラミド+ 両端固定)	Case2 布パッカーB (高強度ポリ ポリエチレン 繊維+片端 固定)	Case5 布 パッカーC (高強度ポリ +両端固定)
耐圧性:袋 体耐圧性 (0.25Mpa)	×: 折りヒダ から袋体破裂 (試験 1)	○: 問題なし	○: 問題なし
グラウト 止め機 能:	○: 問題なし 袋体端部漏れの 有無	△: 孔奥側注入 時端部漏れ(試 験 2)	○: 問題なし
追従性:透 明アクリル 管内の目視	△: 端部ミ ルク漏れ(試験 3)	○: 開口部付 近の密着性を 確認	○: 開口部 付近の密着 性を確認
施工性:製 作手間(端 部箇所数 等)	○: 端部 2 ヶ 所のため施工 手間が多い	◎: 端部 1 ヶ 所のため施工 手間が少ない	○: 端部 2 ヶ所のため 施工手間が 多い
評価	×: 袋体が破 裂。耐圧性が 担保できない 折りヒダが弱 点になる可 能性あり	△: 端部漏れ が発生。グラ ウチング止 め機能にや や不安あり 端部固定方 法に改善の 余地あり	○: パッカ ーとしての 耐圧性とグ ラウト止め 機能を有し ている

【令和元年度の研究内容】

(1) 概要

前回の試験で、アンカー孔を模したケーシング管内での往復試験において、布製パッカー端部に擦れによる局所的な傷みが見られたため、その対策として考案した改善策について、予備実験にて効果を比較・検討した。

本実験では、予備実験で端部対策としての効果を確認したスペーサーを設置し、改良した試験体で挿入時の損傷度およびグラウト止め性能を確認した。

(2) 実験内容

1) 挿入試験

布パッカー付テンドン (L=6m) を、水平に設置したケーシング (L= 14m) 管内で往復させ、損傷等が生じないか確認した。なお、削孔長 70m を想定して挿入は 5 往復実施した。

ケーシング内の移動距離は以下のとおりとした。

(ケーシング長 14m－試験体 6m) × (2×5) =80m

2) 注入試験

アンカー孔奥の定着部を模した片端を閉塞した鋼管内に、挿入試験で使用した試験体を設置し、パッカー内注入(膨張)後に、その奥側(管端部閉塞)を注入する。各々の注入圧力は、口元で 0.5～1.0MPa までかけて、グラウト漏れ等不具合が発生しないか確認した。

3) 実験ケース

高強度ポリエチレン繊維(イザナス)を使用した布パッカーで、パッカー端部加工のタイプ Case 5・Case 7 を実施する。各ケースの仕様を表-2 に示す。また、各ケースの構造を図-2、図-3 に示す。

表-2 布パッカー付テンドン挿入試験

ケース名	仕様	端部拘束部仕様	備考
Case5	端部分離	水硬パテ+特殊モルタル	
Case7	袋体折返し	水硬パテ+ブチルテープ	Case2改良版

※特殊モルタル: 太平洋ハイジェクター

※注入圧力はパッカー、孔奥とも 0.5～1.0MPa とする。

※Case7 は、過去の実験ケースの Case2 の端部止水部にブチルテープによる止水部を追加した新仕様

(3) 実験手順

1) 試験体組立

試験体は長さ 6m のテンドンの中央に L=80cm (パッカー機能長 60cm) を各ケースの構造で取り付ける。テndonは以下の仕様とする。

15.2 エポキシ樹脂被覆 PC 鋼より線 15.2 × 14 本 + 軸力計測用ストランド 2 本

また注入ホースも以下に示すように現状に合わせて設置する。(下記の φ21.5 ホースの 1 本がパッカー内のグラウト注入ホースとなる。)

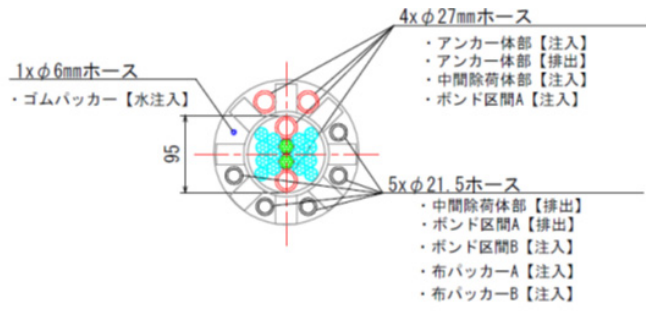


図-1 注入ホース概要

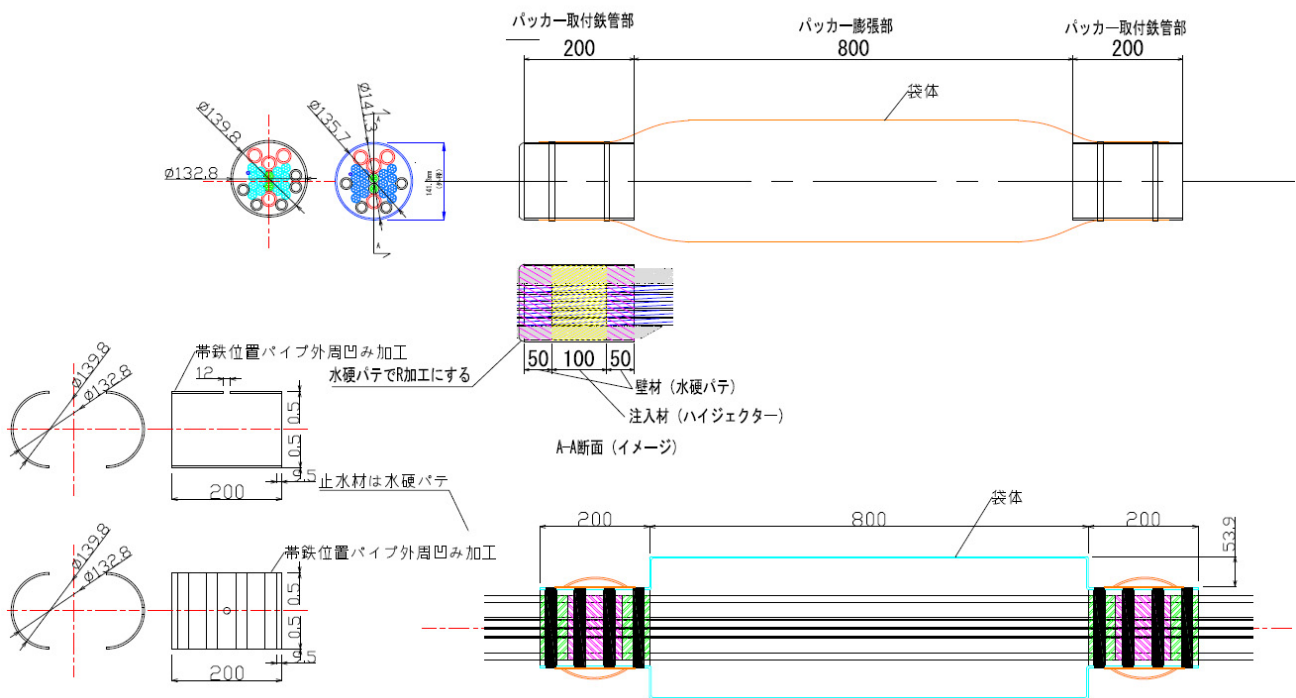


図-2 Case5 構造図

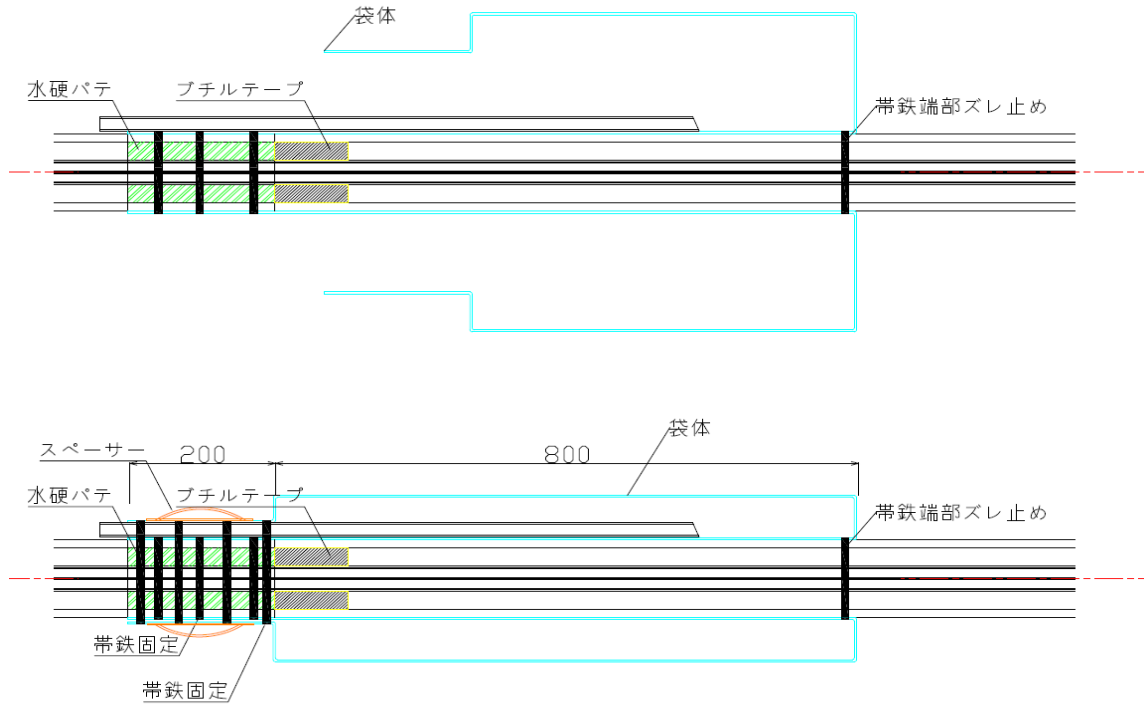


図-3 Case7 構造図

(注) Case7は、袋状のものを折返して使用するため、片端は tendon への固定のみで、ミルクの漏出防止加工が不要。

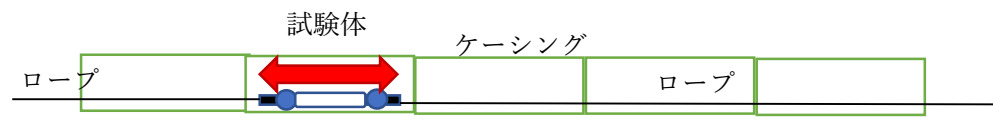
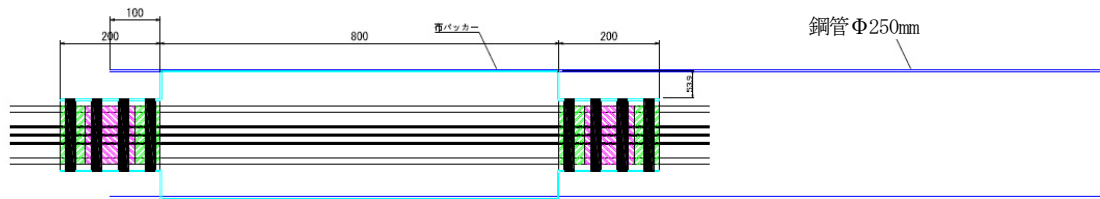
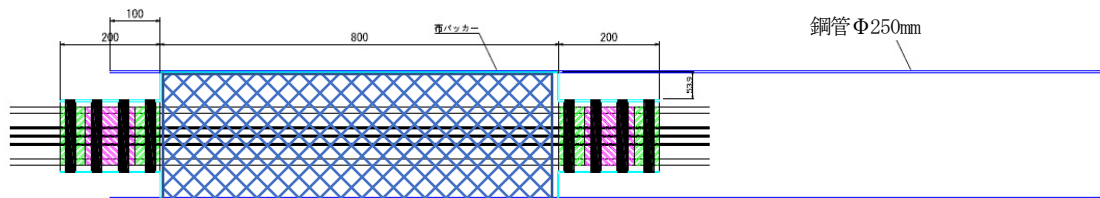


図-4 試験体

①鋼管内に試験体設置



②布パッカー内にグラウト充填



③孔奥グラウト充填：パッカーによる止水効果確認

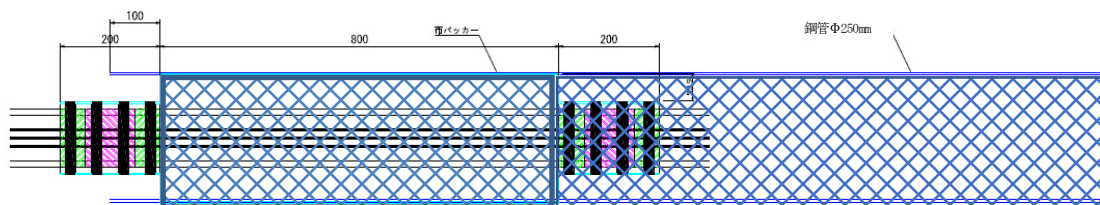


図-5 注入実験概要



写真-1 Case7 挿入試験時状況：5往復（80m相当）の移動に対して引っ掛かり等は無かった。

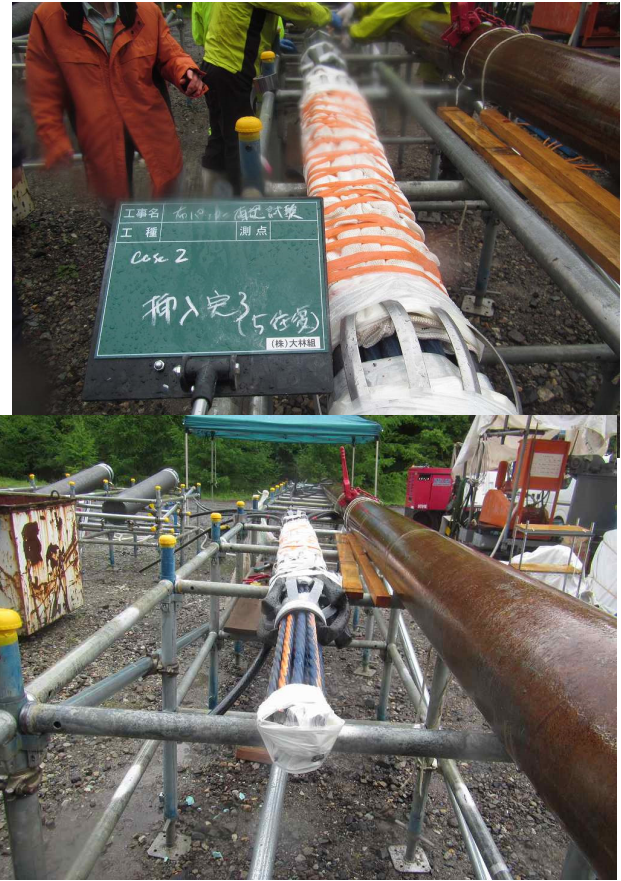
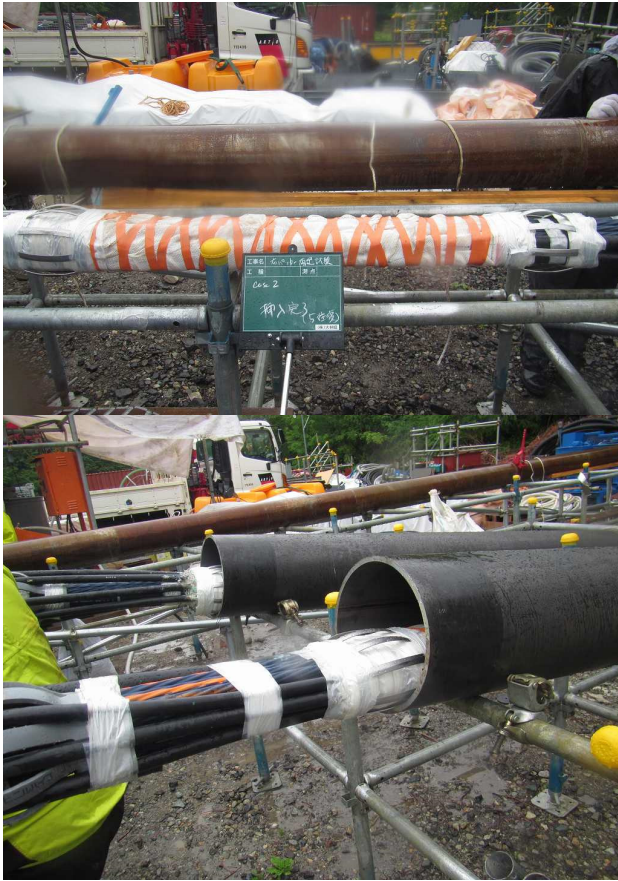


写真-2 Case7 挿入試験後：布パッカーに損傷は認められなかった。



写真-3 Case7 注水試験状況：最終注水圧は口元で0.5MPa以上とした。

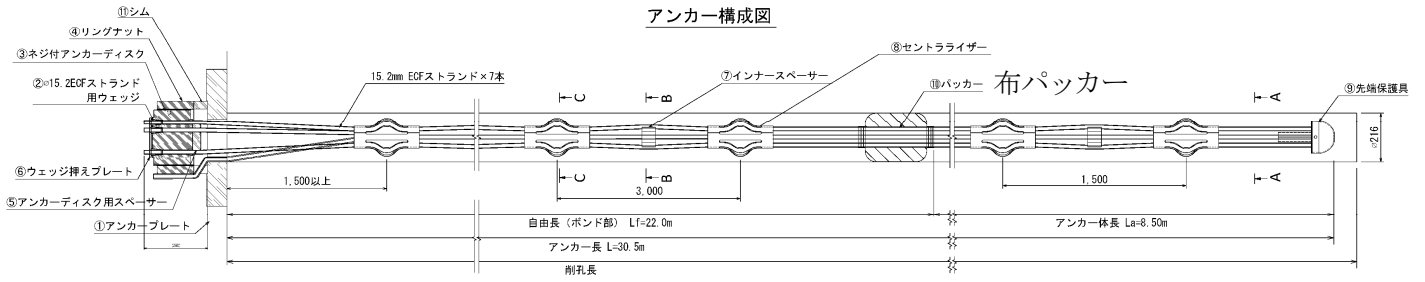


図-6 千本ダム tendon 詳細図



布パッカー：Case7 布パッカーの設置状況

tendon 全長：手前側がアンカー先端部、PC 鋼より線は ECF ストランド

左がスペーサー、右がセントライザーの設置状況



写真-4 千本ダムにおける布パッカー施工

2) 挿入試験

ケーシング 2m を 7 本、チェーンレンチを使ってつなぐ。試験体に親綱等のロープを両側につけて、つないだケーシング内にセットする。ケーシング端部から出ているロープを交互に引っ張って、試験体をケーシング内で 5 往復させる。往復後試験体を取り出し、パッカー一部に損傷等が発生していないか目視観察を行った。

3) 注入試験

ケーシング内への挿入およびケーシング引抜きにより布製パッカーが損傷せず、その後の定着体注入時にパッカー機能を確保できるかどうかを確認するため、上記 2) のに挿入試験後の試験体を使用して注入を行う。アンカー孔を模擬した鋼管内に設置して注入するため、パッカーの前後を高速カッターで切断し、試験体の長さを 2.5m にした。

パッカー内にグラウトを注入してパッカーを膨らませた後、端部を閉塞した管奥にグラウトを注入し、パッカーの止水効果を確認した。管奥注入時にパッカーが押し出されないよう鋼管の管口にパッカー移動防止のコマ材を設置した。パッカー内および孔奥の注入時の圧力は最大 1.0Mpa とし、最終注入圧は口元で 0.5MPa 以上 とした。

(4) 実験結果

1) Case5

①挿入試験

挿入試験では 5 往復 (80m 相当) ケーシング内で布パッカー付試験体を移動させたが、パッカーが擦れた形跡はなく、損傷を与えることなく挿入できることを確認した。

②注入試験

挿入試験の試験体を 2.5m に切断し、鋼管内での注入試験を行った。布パッカー内注入では最終圧力 0.5MPa 以上で保持できることを確認した。また、孔奥の注入でも最終圧力 0.5MPa 以上で保持できることを確認した。

また、注入中は、最大 1.0Mpa まで圧力を掛けたが、異常は見られなかった。

孔奥部がミルクで充填され、孔奥側からパッカーに圧力が掛ることに伴い、パッカー外周の布部から、パッカー内のセメントミルクがさらに加圧脱水されたと見られるセメント分がわずかに混じった水の浸みだしがあったが、最終的にグラウト止め性能を満足することを確認した。

2) Case7

①挿入試験

Case5 と同様に、挿入試験を行ったが、パッカーが擦れた形跡はなく、損傷を与えることなく挿入できることを確認した。

②注入試験

Case5 と同様に注入試験を行った。

結果、布パッカー内注入では最終圧力 0.5MPa 以上で保持できることを確認した。また、孔奥の注入でも最終圧力 0.5MPa 以上で保持できることを確認した。

また、注入中は、最大 1.0Mpa まで圧力を掛けたが、異常は見られなかった。Case5 と同様に、混じった水の浸みだしがあったが、最終的にグラウト止め性能を満足することを確認した。

【結果とりまとめ】

今回の試験体は 6m とすることで、ある程度直線性を確保して試験することができた。また、布パッカー両端にスペーサーを設置することにより、以前のセントライザーよりも 布パッカーに近い箇所でのケーシングとの離隔を確保する改善を行った。

その効果、挿入試験において Case5、Case7 ともに端部を含めた布パッカーに損傷を与えずに挿入できることを確認できた。

また、鋼管内注入試験では、高強度ポリエチレン繊維の布パッカーは、端部取付加工部分も含めて、1Mpa までの注入圧力に耐えることを確認し、グラウト止め性能も満足することを確認した。

Case5、Case7 の比較では、挿入試験と注入試験では、その結果に特に差はなかった。ただし、組立の施工性では、Case7 は端部加工手間が少なく、その分だけ、パッカー内注入時のミルク漏出リスクも少ないとみられる。したがって、総合的には Case7 の方法が優れていると考えられる。

【今後の課題】

今回技術開発した布パッカーは、大口径・高耐圧の品質を満たすとともに、布パッカー袋体がグラウトで充填固化されることで、岩盤との密着による摩擦抵抗が相当増すことが、現地実験を通じて確認されている。

今後はこれらの優れた特徴を実用を通じて更に確認することで、大容量・長尺のアンカー施工の場への普及に努めたいと考えている。

【謝辞】

今回布パッカーの技術開発については、共同研究者である(株)大林組本社に多大なるご協力を頂いた。ここに記して深甚なる謝意を表する。