

報告 CFシートを用いたASRの拘束効果の追跡調査報告

安東 祐樹*1・岩田 八興*2・浜沖 敏比克*3

要旨: アルカリ骨材反応(以下ASR)で損傷した構造物に、ASRの膨張を拘束する目的で炭素繊維シート(以下CFシート)を接着した。この拘束効果を確認するために、施工後のCFシートの変状調査、コンタクトゲージを用いた変位量測定および、応力開放法によるCFシートの応力測定を行った。結果は、部分的に浮きを確認したが、外観的には良好で施設内の漏水などの変状は確認できなかった。また、CFシート切断箇所の変位量の増大傾向が確認でき、応力開放法によりCFシートの現有応力を推定した。これらより、CFシート接着工法はASRの膨張に対し拘束効果を期待できる補修工法であると考ええる。

キーワード: ASR(アルカリ骨材反応), CFシート接着工法, 拘束効果, 応力開放法

1. はじめに

ASRの補修対策は、一般に建設省総合技術開発プロジェクト¹⁾(以下総プロ)の研究成果に準拠している。総プロの補修の基本方針は、コンクリート保護塗装とエポキシ樹脂による注入である。しかしながら、これらの工法は、背面水などの影響を強く受ける箇所では、ASRの進行を抑制することができない。また、常時水の影響を受ける箇所は、総プロの工法適用範囲外であり、現在有効な対策が無いのが実状である。²⁾

ここで紹介する事例は、水道施設の一部であり、平成6年にASR補修対策としてCFシート接着と無機系材料の注入による補修を行った下為角着水井である。これらの補修は、前述の総プロに準拠した補修工法でなく、その有効性が不明確である。本文では、このCFシート接着がASRに対する拘束を確認するために行った調査結果について報告する。

2. 構造物概要

下為角着水井は、広島市安芸区畑賀町下為角に位置し、広島水道事務所に管理された水道施設の一部である。この構造物内の水は、工業用水および飲料用の原水として利用している。

この着水井は、昭和54年に築造された鉄筋コンクリート構造物であり、10数年経過後に亀甲状のひび割れを確認した。平成6年の調査結果は、総プロのASR判定基準(表-1)により判定を行うと、総合点数が9点で6点以上の場合となり、“ASRによる損傷”であった。また、本構造物で使用した粗骨材は、粘板岩・砂岩・流紋岩で構成されており、ASRを生じる可能性が高い粗骨材であった。また、コンクリートの配合は、竣工書類がないため不明であった。図-1～図-2および写真-1～写真-2に、本構造物の概要を示す。

表-1 ASR判定基準および本構造物の判定結果

試 験	結 果	点数
コアの外観観察	ゾル・ゲルあり	②
コアの膨張試験	膨張量 >0.05%/3ヶ月	③
コアの反応促進試験	ゾル・ゲル発生	②
ゲル成分調査	シリカ成分がある	3
骨材のアルカリシリカ反応試験(化学法)	骨材が有害、潜在的有害である	②
本構造物の総合点数		9

注)各試験結果に該当する点数に○印を記した。

*1 ショーボンド建設(株) 補修工学研究所 (正会員)

*2 広島県企業局 広島水道事務所 所長 (非会員)

*3 広島県企業局 広島水道事務所 維持管理課 課長 (非会員)

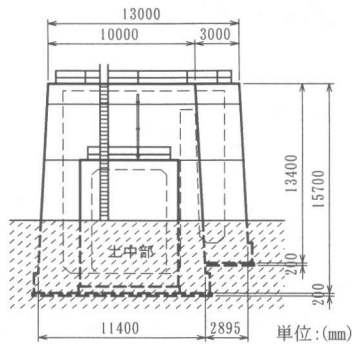


図-1 構造寸法図(正面 北側)

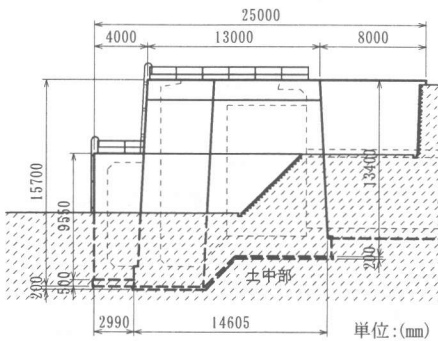


図-2 構造寸法図(側面 西側)

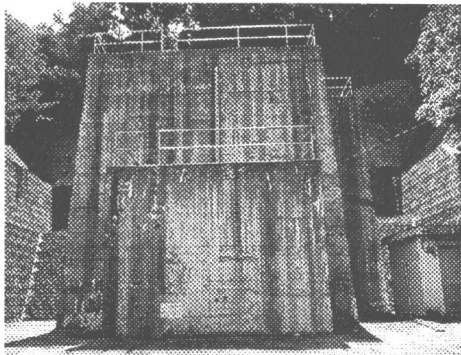


写真-1 構造物正面 北側

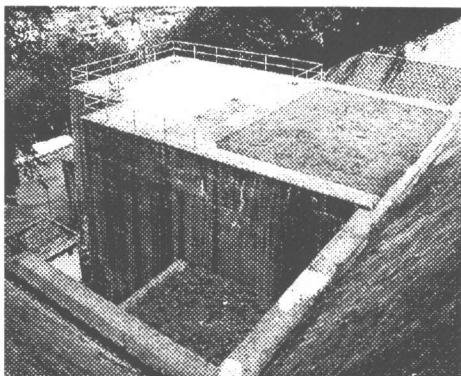


写真-2 構造物側面 西側

3. 補修工法選定の経緯

ASR対策の基本は、コンクリートへの水の浸入を防ぐことである。これにしたがうと、本来構造物内側の防水を先行し、その後外側の対策を行うことが重要である。しかし、本構造物の補修工法の選定にあたり以下の制約条件があった。

- ①本構造物は供用中であり、外側地上露出部からの対策とする。
- ②構造物内の水が上水道の原水であるため、人体に無害な補修材料を使用する。
- ③構造物の水密性を確保する。
- ④補修後のASRの膨張によるひび割れの発生や拡大を抑制する。

条件①より、背面からの水の影響があるため、総プロの補修対策が適用できない。そこで、条件②～④を満たすための工法を選定した。ひび割れには条件②、③を考慮して改質ゼオライト混入の無機系注入材を使用した。しかし、無機系注入材だけでは、条件④を満足できないため、CFシート接着工法を選定した。その際、ASRによるひび割れは方向性が不規則であるため、シートの配置および積層数は構造物の鉛直方向および水平方向に各1層とした。ここで、使用したCFシートの物性を表-2に示す。写真-3に補修後の構造物を示す。

表-2 使用したCFシートの物性値

項目	単位	物性値
弾性係数	N/mm ²	2.30×10 ⁵
目付け量	g/m ²	300
含浸材	—	エポキシ樹脂

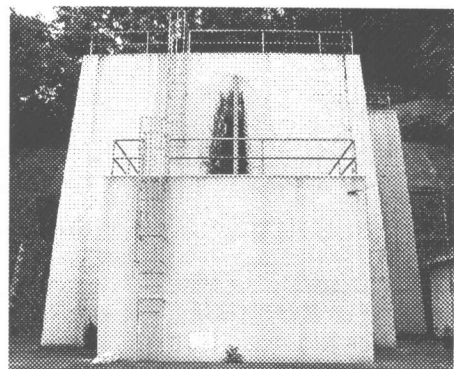


写真-3 補修後の構造物(正面)

4. CFシートの拘束効果確認調査

4.1 調査項目

本構造物の補修工事は、平成6年に実施しており、調査を開始した時期(平成10年)には、すでに4年ほど経過していたが、本調査開始までに目視による外観の変状はほとんど確認できなかった。そこで、ASRの膨張に対するCFシート接着の拘束効果を確認するため、以下の調査を実施した。

- ① 変状調査(目視および打診)
- ② ASRの膨張による変位量測定
- ③ CFシート表面の現有応力測定

4.2 CFシートの変状調査

4.2.1 変状調査方法

補修箇所でのCFシートおよび塗膜のわれ・はがれ・ふくれ等の有無を目視および打診により、定期的に行った。なお、期間は平成10年5月～平成12年12月までの間に計11回実施している。この調査の種類と項目を表-3に示す。

表-3 調査の種類と項目

種類	項目	範囲
目視調査	塗膜のわれ・はがれ・ふくれ	地上露出箇所 (変位量測定箇所を含む)
打診調査	CFシートの浮き・はがれ	地上露出箇所を基本とし、足場等の設備を設けず、作業可能な範囲とする。

4.2.2 変状調査結果

目視調査では、CFシートの破断などの変状は確認されなかった。

打診調査の結果(図-3～図-5)より、200mm×200mm～1500mm×3000mmの浮きが確認され拡大傾向にあった。また、東面の1200mm×1200mmの浮き箇所では滞水していた。このCFシートの浮きは、目視だけでは判断できず、打診によって確認可能な変状であった。

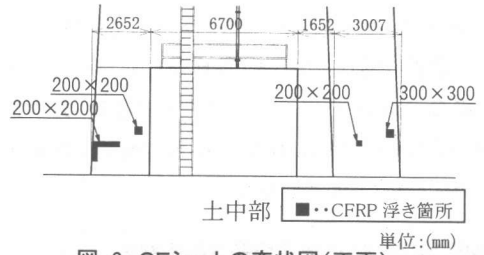


図-3 CFシートの変状図(正面)

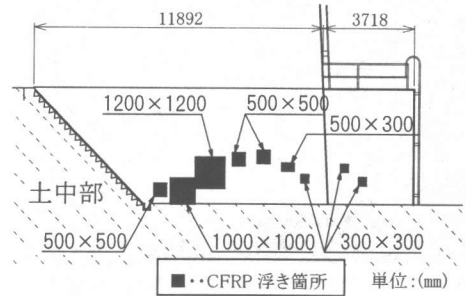


図-4 CFシートの変状図(東側面)

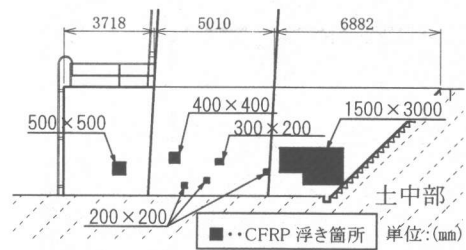


図-5 CFシートの変状図(西側面)

硬化したエポキシ樹脂は、耐水性に優れる材料であるため、常温の水により樹脂層が劣化することはない。通常の使用では、約50年以上の耐久性があると報告されている。³⁾したがって、CFシートの浮きは、以下の原因が複合して発生したと考える。

- ① 幅が0.2mm以上のひび割れが補修対象であったため、全てのひび割れに対して注入を行えなかった。
- ② 施工当時から著しく損傷していた箇所は、遊離石灰や漏水影響により注入に限界があった。
- ③ 無機系の注入材は、エポキシ系に較べて充填性や伸び能力および付着能力が劣る。
- ④ 構造物を供用しながらの施工であったため、内部水圧の影響により、注入材が十分充填されなかった。

コンクリート保護塗装の場合、背面からの水の影

響があるとASRの膨張により、ひび割れが開口、拡大し塗膜に割れが生じる(写真-4)。しかし、シートの場合、CFシートの浮きで止まり(写真-5)構造物の水密性が確保されており、水道施設の機能を十分保持していると考える。

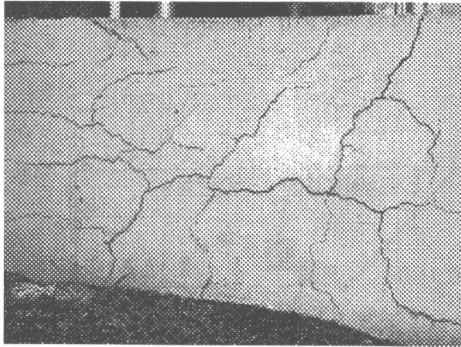


写真-4 コンクリート塗装を施した構造物の変状

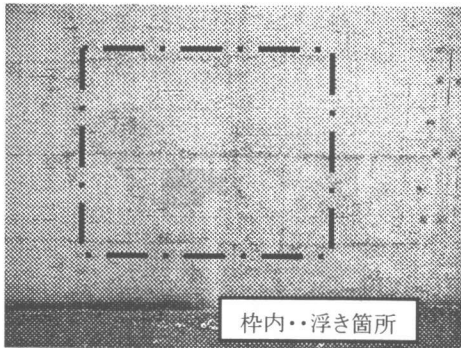


写真-5 CFシートの変状(東面 1.2m×1.2m)

4.3 CFシートの変位置測定

4.3.1 変位置測定方法

ASRの膨張に対するCFシートの拘束効果を確認するために、

コンタクトゲージを用いて変位置を測定した。測定は、各箇所CFシート表面の塗膜をワイヤブラシで除去し、CF

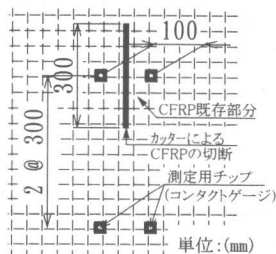


図-6 変位置測定概略図

シートを露出させて3対の測定チップを貼り付けた。また、その内の1対の測定チップ間を図-6のように

切断し、CFシート接着の拘束解放後の経過時間と変位の関係を調べた。同時に未切断箇所についても同様に関係を調べた。なお、測定時期は変状調査と同時期とし、実施箇所は図-7～図-8に示す東面1箇所および西面2箇所とした。

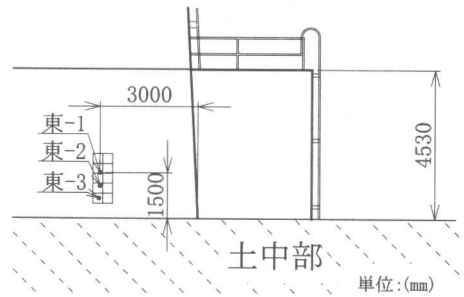


図-7 調査位置(東側面図)

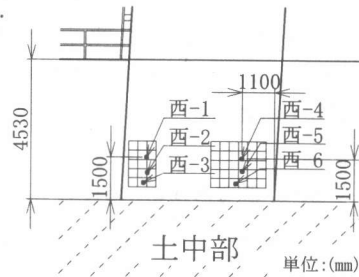


図-8 調査位置(西側面図)

4.3.2 変位置測定結果

経過時間と変位置の関係を、図-9に示す。なお、変位置は、測定開始時の外気温(27℃)を基準として温度補正を行っている。

図より、時間の経過に伴いCFシート切断箇所(東-1、西-1、西-4)は、変位置が6ヶ月までは、直線的に増加傾向にある。また、西面・東面を較べてもその傾向に大きな差は認められない。ただし、12ヶ月目以降の変位置は、CFシートのはがれが確認されており、変位置に影響していると推測できるため参考値と考えたい。一方、未切断箇所(東-2・3、西-2・3、西-5・6)の変位置は、ほぼ横ばい状態にあり、変位の増大は切断箇所と比べると小さな値であった。以上より、CFシートがASRの膨張を拘束することが確認できた。

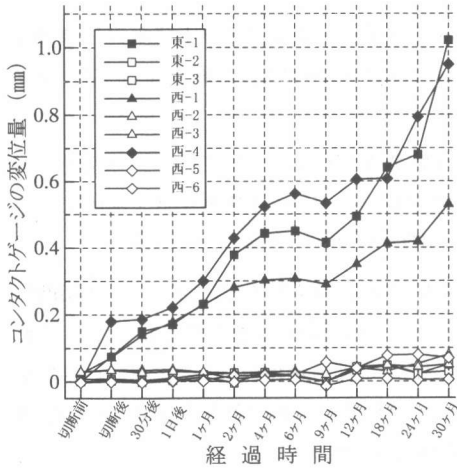


図-9 変位量測定結果

4. 3. 3 CFシートの切断箇所の変状状況

CFシートを切断した箇所(東-1,西-1,西-4)では、調査開始後2ヶ月目の計測で、CFシートのパテ層に割れが確認できた(写真-6)。

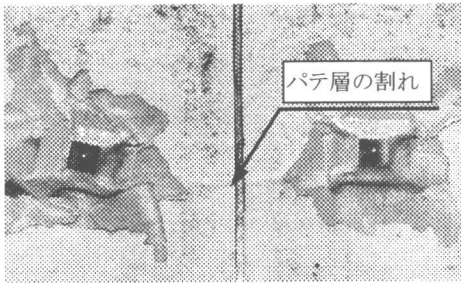


写真-6 CFシート切断箇所の変状

6ヶ月後の調査では、前回の変状が進行し、西面の2箇所では褐色または白色の析出物が切断箇所から流下、固化しているのが確認できた(写真-7)。

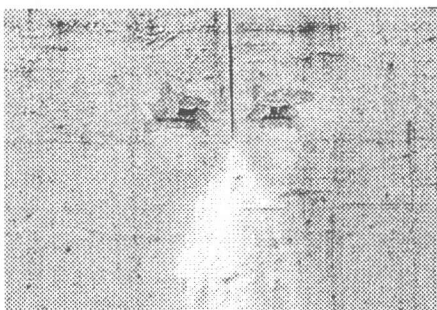


写真-7 西-4の析出物

この析出物を、X線回折で組成を調べた結果、シ

リカゲルで見られる $2\theta = 3 \sim 5^\circ$ の大きな散乱が確認できなかったため、炭酸カルシウム(エフロレッセンス)と判断した。

また、12ヶ月後に東-1と西-4で、切断箇所付近の浮きを確認できた(図-10)。その後、この浮きは調査の度に拡大していた。

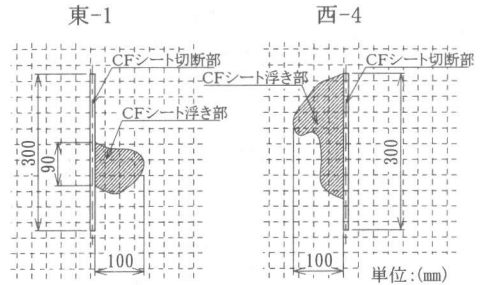


図-10 CFシートの浮き

4. 4 CFシートの現有応力測定

4. 4. 1 現有応力測定方法

ASRの膨張に対するCFシートの応力負担状況を確認するため、応力開放法⁴⁾(以下リリース法)によるひずみの測定を行った。図-11のように、コア削孔機にてコンクリート構造物の表面応力が完全に開放できる深さ(31 mm)まで、外形100 mmでゲージの周囲に沿って切断し、ひずみの測定を行った。その際、コア削孔後のひずみの安定を考慮し、削孔後24時間経過の後にひずみの測定を行った。

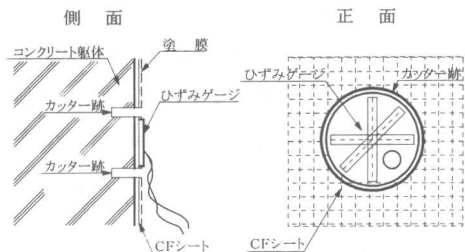


図-11 リリース法概要図

得られたひずみから、ひずみロゼット法により主ひずみを算出し、CFシートの弾性係数を乗じて応力の換算を試みた。測定には、リリース法用として開発されたひずみゲージ(写真-8)を用いた。実施箇所は、図-12～図-13に示すR1～R3の位置とした。

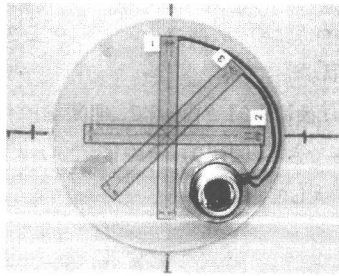


写真-8 ひずみゲージ

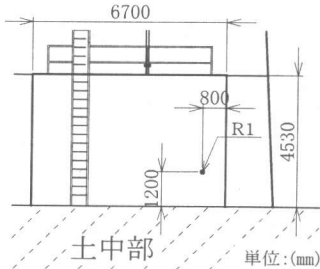


図-12 調査位置(正面図)

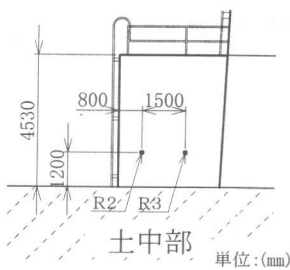


図-13 調査位置(西側面図)

4.4.2 現有応力測定結果

リリース法で得られたひずみを応力に換算すると、CFシートに35.9~87.2 N/mm²の引張応力が発生していると推定される(表-4)。しかし、この値の評価は、調査の事例が少ないため今後の検討課題と考える。

表-4 CFシートのひずみ・応力結果

位置	ゲージ1 ($\times 10^{-6}$)	ゲージ2 ($\times 10^{-6}$)	ゲージ3 ($\times 10^{-6}$)	発生応力 (N/mm ²)
R1	-155.5	59.0	-38.0	-35.9
R2	-323.0	-68.0	-242.0	-76.2
R3	-377.5	-296.0	-324.5	-87.2

(注) 圧縮を正とした。

5. まとめ

ASRの膨張に対するCFシート接着の拘束効果について本調査より得られた結果を以下にまとめた。

- ① 変状調査より、部分的にCFシートの浮きが確認されたが、施設の水密性を低下させるシートの破断などの変状は確認できなかった。
- ② 変位量調査の結果では、CFシートの切断により経時的に変位の増大が確認された。これに対し、未切断箇所では、変化量は小さく、CFシート接着がASRの膨張を拘束していることが確認された。
- ③ リリース法により、CFシートが負担する応力を推定できた。ただし、この値の評価については、事例が少ないため今後の検討課題と考える。

以上より、ASRの膨張に対するCFシート接着の拘束効果を確認できたと考える。このような追跡調査は、構造物の耐久性を判断する上で重要である。今後も継続して変状と変位量の調査を行い、ASRの膨張に対するCFシート接着の拘束効果を定量的に評価したい。

[謝 辞] 本工法の提案ならびに報告を取りまとめるに当たり、ご指導を頂いた中電技術コンサルタント(株) 沖元浩見氏に深く感謝いたします。

参考文献

- 1) (財) 土木研究センター: 建設省総合技術開発プロジェクト・コンクリートの耐久性向上技術の開発, 1989
- 2) 建設省土木研究所: 土木研究所資料 中国地建における一日土研資料, 土木研究所資料第3758号, pp108
- 3) 川村勝 他: 施工15年経過した鋼板接着工法使用エポキシ樹脂の性能に関する調査研究, 構造工学論文集, Vol.44A, pp1105-1110, 1998.3
- 4) 加藤暢彦, 金田昌彦, 園田恵一郎: コンクリート構造物の現存応力の測定法に関する研究, 構造工学論文集, Vol.42A, pp.333-340, 1996.3