

補修材料の品質評価に関する考察

農研機構 森 充広 川邊 翔平 金森 拓也

1. はじめに

1999（平成 11）年に発生した山陽新幹線のトンネル覆工崩落事故などをきっかけとして、コンクリート構造物の適時適切な維持管理の必要性が認知され、2001（平成 13）年、土木学会コンクリート標準示方書にはじめて「維持管理編」が刊行された。農業水利施設の補修が開始されたのは、ちょうどそのころからであった。開発段階の補修工法を試験的に施工したこと（図1）をきっかけとして、香川県土器川沿岸地区のコンクリート水路は、民間企業が開発した新工法を試験的に施工する「展示水路」となった。この水路については、中国四国農政局を中心として継続的なモニタリングや試験などが行われ、補修材料の耐久性に関する様々な知見が得られる現地フィールドとなった。その後、農林水産省各農政局において、ストックマネジメント技術高度化事業等を活用して「試験施工＋モニタリング」の取組が進められ、数多くの補修工法に関する基礎的なデータが集約されつつある。

農業水利コンクリート構造物を対象とした補修工法は、一般的な土木コンクリート構造物を対象として開発してきたものを流用していたこともあり、導入当初は補修材料に様々な変状が発生することもあった。筆者らは、まず現状の農業水利コンクリート構造物の変状を調査し、①現状の農業水利コンクリート構造物に発生した変状の特徴と原因の把握、②構造物に期待する性能の明確化と変状による性能低下の把握、



図1 土器川沿岸地区における試験施工
2002（平成 14）年 3月

③補修工法に要求する性能の設定、④施工環境その他の検討、の4つが、補修工法選定における要点であることを示した¹⁾。さらに、補修材料に発生している変状を取りまとめ、変状を発生させないためのポイントとして、①補修材料に要求される性能を明確にすること、②性能を照査するための試験方法を確立すること、を示した²⁾。

コンクリート開水路の表面被覆工法や目地補修工法の研究開発や現地適用が進められる中、2015（平成 27）年、農林水産省において農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路補修編】（案）（以下、補修補強マニュアル）が制定された。これにより、現地施工に先立ち、適用予定の補修材料の品質を事前に確認する体制が整備された。また、実際の補修工事に際しては、（一社）農業土木事業協会にお

いて農業水利施設補修工事品質管理士の制度が開始されるなど、ストックマネジメントを堅実かつ効果的に進める体制が整備された。補修補強マニュアルは、現場における耐久性が不明である新素材であっても、品質評価試験を満足すれば適用できるという、まさに、「性能規定型」を取り入れている点で画期的である。一方で、品質評価試験は、現在のところあくまで「見なし」の品質評価に過ぎず、その方法や規格値は、実情に応じて随時見直し、更新するべきものとする。

本稿では、補修材料の品質評価に着目し、品質評価のあり方について私案を述べる。さらに、検討経緯が異なる2つの品質評価の事例として、頭首工エプロンの補修材料、目地補修材の品質評価に関する研究事例を紹介する。

2. 品質評価のあり方

(1) 補修材料の品質評価の必要性

農業水利施設の補修を行う場合には、想定される環境条件のもとで、その補修材料が所定の供用年数、性能を発揮することが求められる。その中でも、特に「施工された環境」における耐久性は、補修材料そのものの材料特性に加え、補修材料が供用される環境条件や、補修対象のコンクリート構造物の劣化の程度によっても影響を受ける。したがって、実現場で施工された補修材料の耐久性を正確に照査するには、現在のところ、現地施工された補修材料を長期的にモニタリングする以外に方法はない。

そこで、各種性能を短期間で評価する代替手法として、品質評価試験方法が必要となる。品質評価は、補修材料の各種性能を「見なし」で評価する方法であり、そのためには、「公平・公正、かつ統一された評価試験方法」と、「納得できる規格値

の設定」が必須となる。また、評価試験は、可能な限り補修材料を適用する環境条件を模擬した状況で実施することが望ましい。

(2) 今後の品質評価のあり方に関する私見

農業水利施設を対象とした補修材料は、水と長期間接触する、乾湿を繰り返す、など、一般的な土木構造物とは異なる環境で供用される。そのため、考えられる劣化因子やその外力は、農業水利施設特有の条件で設定される必要がある。しかし、補修材料の品質評価試験の方法が定まっていない段階では、まずスタートとして、日本工業規格 JIS や土木学会 JSCE 等、他分野で考案され、実績のある品質評価試験を参考にすることは重要である。ただし、施工実績が増えてくれば、いずれは農業水利施設の供用環境を考慮した品質評価試験により補修材料の性能を評価することが望ましい。そのためにも、現地施工された補修材料をモニタリングし、変状発生メカニズムを明らかにすることや、事前に実施した品質評価試験の結果と照合したデータを蓄積することにより、現在の品質評価試験の方法やその評価基準（規格値）の妥当性を随時確認することなどが重要である。

(3) 産学官が連携した品質評価の提案

品質評価のあり方を具体化する上では、産学官の連携が重要である。民間企業の場合、明確

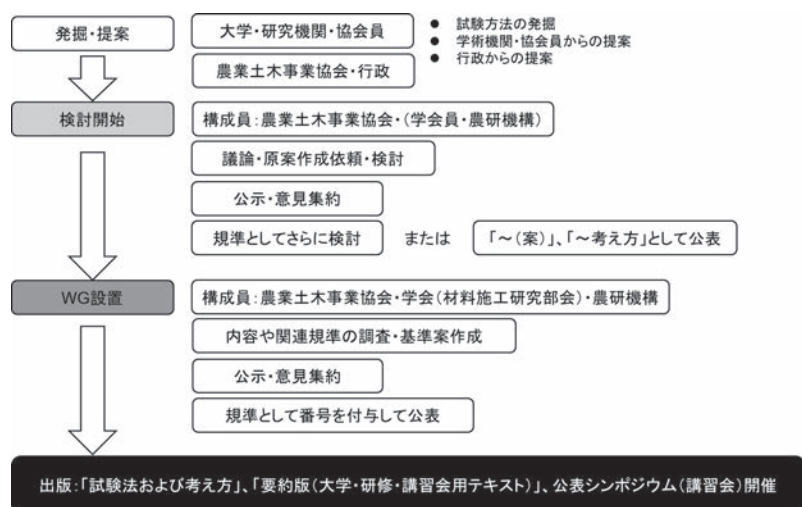


図2 農業水利施設に活用する各種補修材料の品質評価の提案・検討フローの私案

な開発目標である「品質評価試験の規格値のクリア」が重要であり、さらに、他社よりも優れた性能であることを証明するためには、より高い規格値をクリアするか、もしくは施工コストの低減、施工環境の柔軟性など、新たな付加価値を有することが求められている。研究機関では、劣化メカニズムの解明を目的として、可能な限り現地の劣化状況を早期に再現するため、様々な外的要因を考慮した促進劣化試験の開発に力を入れている。工事発注機関は、できる限り低コストで品質のよい補修材料による対策を検討している。いずれも、主たる目的は異なるものの、それを実現する技術として補修材料の「品質評価」が共通の課題となる。

現在、農業農村工学分野における品質評価の検討は、補修補強マニュアルの制定や改定を契機として行われているものが大半と思われる。しかし、その方法では、十分な検討時間が得られない可能性がある。また、研究者が開発したオリジナルの試験が品質評価試験として採用された場合には、その試験機、機関でしか試験ができない、という問題も発生する。

図2に、今後、品質評価試験を検討するための提案・検討フロー（私案）を示す。このフローでは、産学官、いずれもが品質評価試験の提案者となることができる。さらに、試験方法は、土木学会のように試験方法に番号を付与して管理するものとする。これによって、農業農村工学分野で検討・開発された試験が他分野にも認知されるほか、認定機関で試験を実施できるような取り組みに進展する可能性がある。将来的には、農業農村工学分野における品質評価試験が他分野に適用されることもあり得る。実際、このような取り組みを具体化するためには、関係者の協力、理解、事務局の尽力など、課題は山積しているが、ぜひ検討いただきたいと思う。

以下では、将来的に補修補強マニュアルなどでの活用を目指して検討した品質評価試験の例として、頭首工エプロンの耐衝撃性試験を紹介する。また、研究者の立場として可能な限り現

地状況を再現するために検討した品質評価試験の例として、シーリング材（以下、不定型目地材）の基礎的な研究事例を紹介する。

3. 頭首工補修材料の耐衝撃性評価試験の提案³⁾

(1) 頭首工エプロンの補修材料の評価

農業水利施設のうち、コンクリート開水路よりも流速が速い頭首工エプロンや落差工に利用される材料に関しては、洪水時に砂礫や石などによる衝撃を受ける可能性があることから、コンクリート開水路よりも高い耐摩耗性、耐衝撃性を有する必要がある。そこで、頭首工や落差工のような農業水利施設の補修・補強に利用される材料の耐衝撃性能を評価する試験方法の確立を目的として、鋼球落下による衝撃摩耗試験装置を試作した。

(2) 試作した鋼球落下式衝撃摩耗試験装置

試作した鋼球落下式衝撃摩耗試験装置の概要を図3に示す。試験装置は、長さ1,300mmの4本の支柱に、ベース板、天板、支柱補強板を取り付けたものである。ベース板には所定の角度で傾斜させて供試体を設置できる設置板をボルトで固定している。天板中央には鋼球を落下させる穴を設け、鋼球が供試体の所定の位置に落下するよう、塩ビのガイド管を取り付けている。塩ビ管の直径は、空気抵抗による鋼球落下

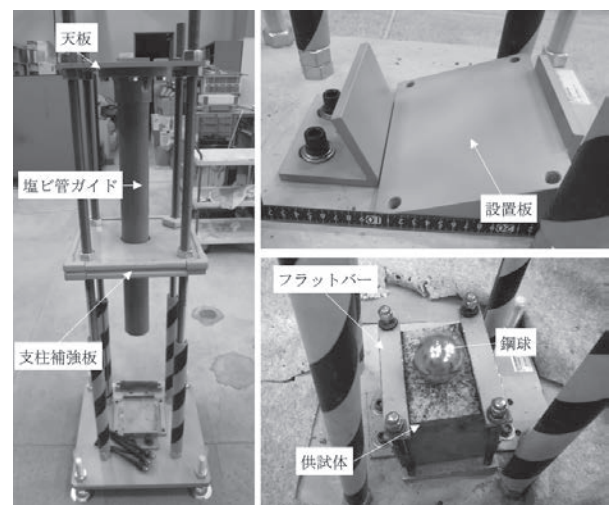


図3 鋼球落下式衝撃摩耗試験装置

速度の減少を懸念し、鋼球の直径よりも4mm程度大きいものとしたが、念のため、90°間隔で4箇所のスリットを設けている。事前に確認試験を実施し、供試体は、水平面から10°傾斜させて設置すること、鋼球は高炭素クロム軸受け鋼鋼材(SUJ2)直径63.5mm, 1,041.7gの規格品を利用すること、供試体の寸法は150mmの立方体を標準とした。また、評価指標としては、衝撃によって削られる孔の最大深さ(最大摩耗深さと定義)とした。

(3) 花崗岩およびコンクリートの耐衝撃性試験結果

強度の異なるコンクリートに対して本試験を実施した結果の一例を図4に示す。鋼球落下回数

数が多いほど摩耗深さが増大すること、圧縮強度が大きいほど耐衝撃性が向上することが確認できた。

花崗岩は厚さ約30mmであり、そのままの厚みでは鋼球落下により割れる危険性があったためコンクリートで嵩上げて高さを150mmとし、嵩上げコンクリートの強度が花崗岩の摩耗深さに及ぼす影響を評価した。試験結果を図5に示す。嵩上げコンクリートの強度によらず最大摩耗深さが7.1~8.4mmと、1.3mm間の差で収まった。このことから、ある一定の強度以上の強度のコンクリートで嵩上げすることによる試験結果への影響はほとんどないことが示された。

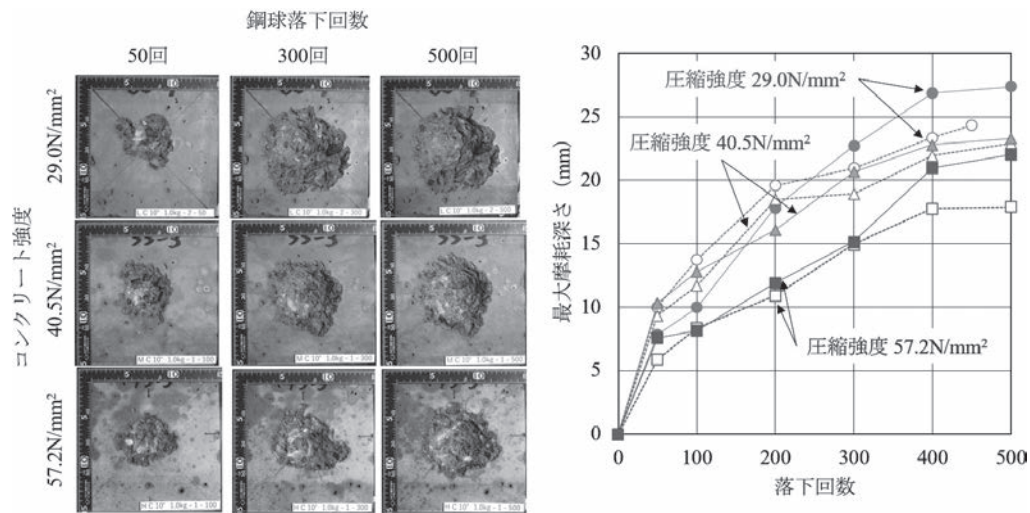


図4 強度の異なるコンクリート供試体の試験結果

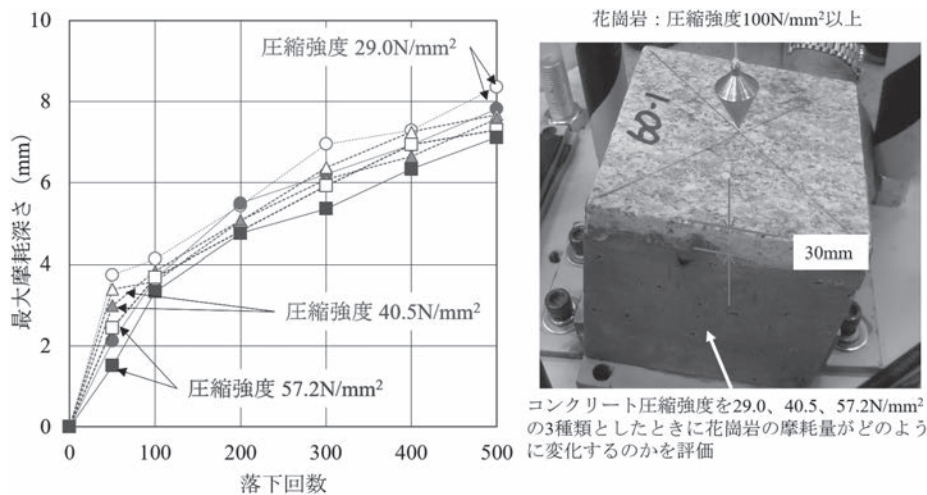


図5 花崗岩の試験結果

しかし、今回の試験結果は、実際の頭首工エプロンの摩耗量との対応は不明瞭である。今後は、現地で施工された補修材料の実摩耗量と、衝撃摩耗試験との対応関係を継続的に調査することが必須である。

4. 不定形目地材の品質評価試験に向けた研究概要

(1) 不定形目地材の評価

コンクリート水路の目地補修材として、不定形目地材が用いられている。もともと、建築用で利用される不定形目地材の耐久性は10年を想定しており、補修補強マニュアル【開水路補修編】においては、主に紫外線に対する抵抗性を中心とした性能項目の評価が規定されている。しかし、不定形目地材の変状を調査した事例⁴⁾では、不定形目地材の劣化モードは①界面はく離、②ふくれ、③材料の変質、④植物の貫通、⑤穿孔、⑥凝集破壊、の6種類に大別されること、また、使用される目地材の材質によらず界面はく離の頻度が多いこと、などが特徴として示されている。また、その後、筆者らが独自に行った調査では、界面はく離は気中よりもむしろ水中部に発生しやすい傾向が見られた(図6)。

現在の補修補強マニュアルにおける目地充填工法の品質規格(例)では、界面はく離に関連する品質規格として、付着性のほか、止水性、伸縮追従性、耐水性が示されている。しかし、現場では、これらの複合的な外力が長期間作用する。例えば、品質評価試験で定められている期間よりも長期間水に浸漬させると、その性能が大きく低下する不定形目地材も見られることが報告されている⁵⁾。

そこで、水中環境下において界面はく離をさらに短期間で再現することを目的として、供試体を水中浸漬状態で伸縮挙動させる試験方法を試行した⁶⁾。

(2) 水中疲労試験方法

試験装置の概要を図7に示す。伸縮試験装置

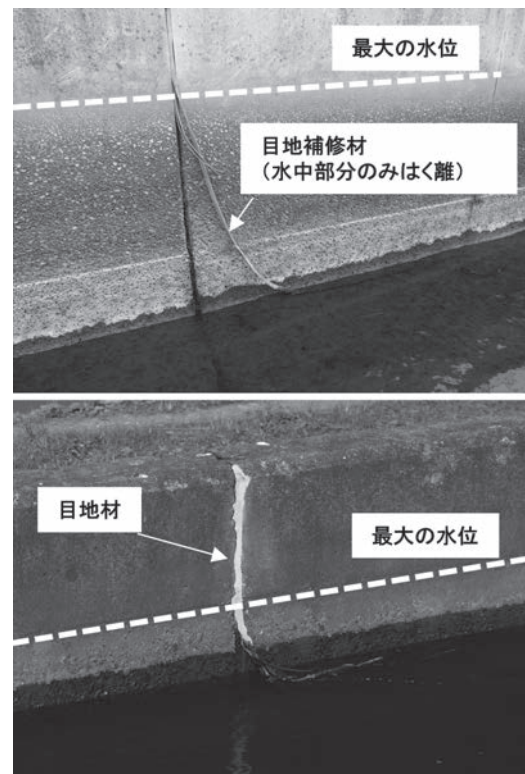


図6 不定形目地材のはく離状況の例

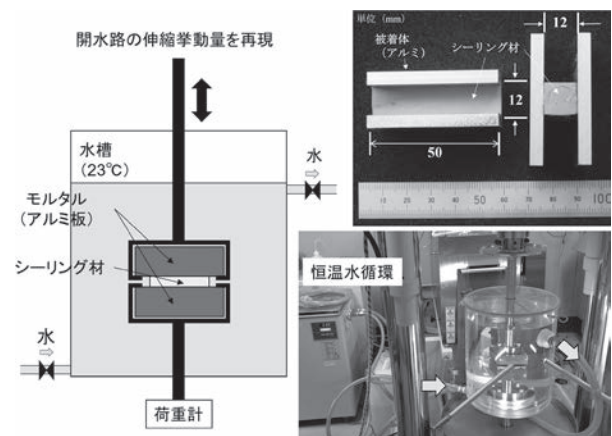


図7 水中疲労試験の概要

の治具全体を水槽内に沈め、その中で試験を行う方法に改良している。供試体は、JIS A 1439に記載されている2枚の50×50×厚さ3mmのアルミ板に、幅12×厚さ12×長さ50mmの不定形目地材を施工した供試体である。シーリング材の厚さ12mmの25%に対応する±3mmの変位を5秒間に1回の速度で繰り返し載荷し、疲労試験を実施した。変位を制御しているため、試験では、そのときに作用した荷重を記録する。

試験中、アルミ板とシーリング材がはく離したかどうかを目視で確認することは難しかったため、「1回目に変位させたときに計測された圧縮・引張荷重」を1とし、それに対する保持率を評価の指標とした。シーリング材が完全に弾性的な挙動を示す場合には、この値は1を維持する。研究では、伸縮疲労試験を水中で行うことによる影響を検証するために、水中伸縮载荷のほか、比較のため、気中伸縮载荷、水中28日浸漬後に気中伸縮载荷の計3パターンで試験を行った。供試体は全部で11個であり、市販されているものを用いた。

(3) 保持率の変化

水中疲労試験の結果を図8、図9に示す。横軸は、伸縮繰り返し回数を対数軸で表記し、縦軸は引張力の保持率（図8）および圧縮力の保持率（図9）である。引張力の保持率に関しては、気中で伸縮载荷を行った場合に対し、水中で伸縮载荷を行った方が、保持率が低下しやすく、一部目視でも確認できるはく離が発生する場合もあった。一方、圧縮力の保持率に関しては、気中部で伸縮载荷を行ったケースにおいて圧縮力保持率が高く、ついで水中浸漬後、水中、という順に保持率が低下した。いずれの環境条件においても、伸縮回数の繰り返しにより、保持率は低下する傾向が確認できた。全体的な傾向として、気中部で伸縮挙動を行うよりも、水中で伸縮挙動を行った方が、保持率は低下しやすい結果が得られた。ただし、水中浸漬後の結果は、圧縮、引張の保持率で差が見られた。長期間の吸水により物性が変化した可能性もあると考えている。水中で伸縮挙動させることにより、保持率が低下する理由についてはまだ十分な検討を進められていない。本試験の条件が、必ずしもコンクリート水路の環境を再現しているものではないが、複合的な外力を加えることにより、水中接着性を効率よく評価できる試験方法の一つとして活用できる可能性を見いだすことはできたと考えている。

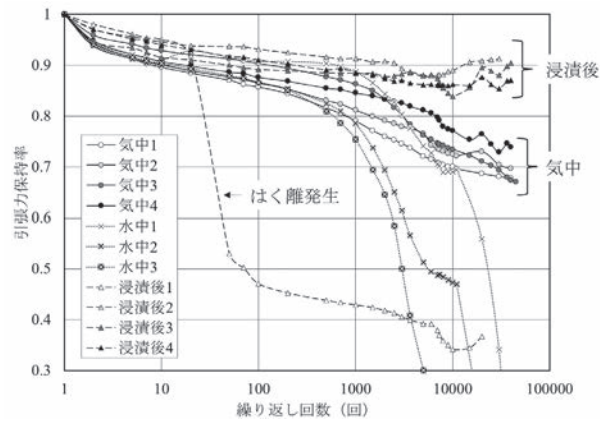


図8 引張力保持率の推移

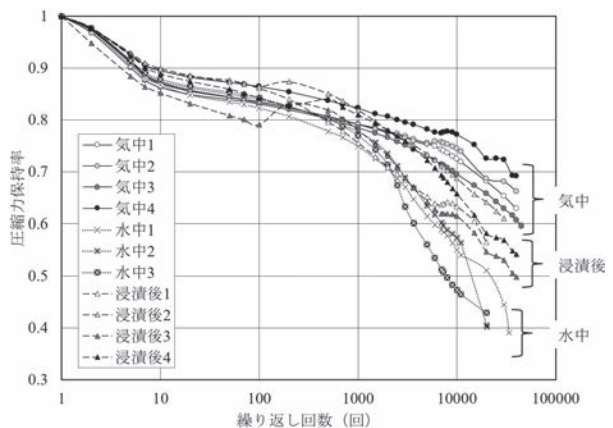


図9 圧縮力保持率の推移

5. おわりに

本報告では、補修材料の品質評価を行うための試験方法の必要性を述べるとともに、その事例として頭首工エプロン補修材料を対象とした鋼球落下式衝撃摩耗試験や、不定形目地材の促進劣化試験の取組について紹介した。今後、様々な工種における農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアルの整備・改定が進行すると思われる。現地で施工された補修材料の劣化状況のモニタリングを継続し、それらの知見を品質評価試験方法とその規格値の設定に少しでも反映できるように、研究を継続したいと思っている。皆様からのご協力、ご支援をお願いする次第です。

参考文献

- 1) 森充広, 石神暁郎, 渡嘉敷勝, 増川晋 (2007): 農業水利コンクリート構造物に見られる変状とその要因, ARIC 情報, 82, 53-59
- 2) 森充広, 奥野倫太郎, 森丈久, 渡嘉敷勝, 中矢哲郎 (2009): 水路補修工法の性能評価に関する考察, 農工研技報, 210, 203-225
- 3) 森充広, 川邊翔平, 金森拓也, 浅野勇 (2022): 鋼球落下による衝撃摩耗耐久性試験に関する研究, コンクリート工学年次論文集, 44 (1), 352-357
- 4) 渡嘉敷勝, 森充広, 中矢哲郎, 森丈久, 幸光新太郎, 山下浩平, 橋向秀治, 杉山真貴 (2013): 農業用水路におけるシーリング目地材の劣化, 農業農村工学会大会講演要旨集, 810-811
- 5) 森丈久 (2019): 変成シリコン系シーリング材の水路目地充填工法適用上の課題, JAGREE, 97, 50-55
- 6) 森充広 (2022): 水中疲労試験による目地補修材の接着耐久性照査, 農業農村工学会大会講演要旨集, 177-178

