

水利施設補修材料の品質確認試験について (第2回)

(独) 農業・食品産業技術総合研究機構 農村工学研究所 渡嘉敷 勝

1. はじめに

近年、農業水利施設の機能保全のための補修・補強工事が多数実施されるようになる一方、一部の現場においては、補修箇所の再劣化が問題となっている。この原因としては、①材料性能、②施工状況、③現場環境の変化、などが考えられる。

本連載の第1回においては、農業水利施設の補修材料に求められる性能や、補修材料が要求性能を満たしているか否かの確認をするための試験方法について、(社)土木学会、鉄道総合研究所、日本道路公団の試験方法を紹介するとともに、農村工学研究所独自の促進劣化試験への取組みについて紹介した。

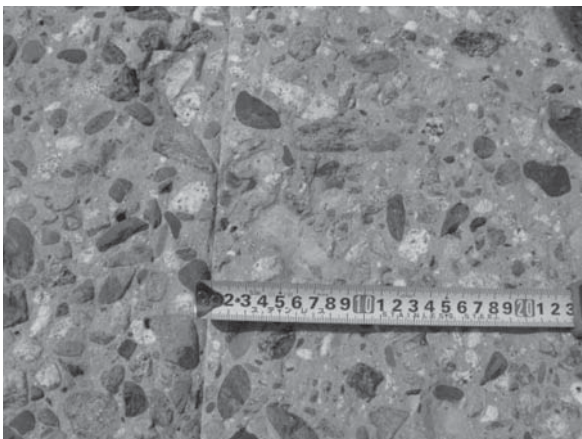
第2回では、農業水利施設の特徴的な変状である摩耗の状況および補修材料評価のための摩耗試験について述べる。そして、農村工学研究所で開発された水噴流摩耗試験について紹介する。

2. 農業水利施設における摩耗

農業水利施設においては、流水にさらされる部

位で摩耗劣化が進行する。農業水利施設の摩耗進行は、構造物の断面を減少させ、安全性能および耐久性能を低下させるとともに、構造物の通水表面の平滑性を著しく損ね、粗度係数を大きくし、水理性能を低下させる原因となる。農業水利施設の機能を保全するためには、施設の各部位で生じている摩耗機構を解明するとともに、補修材料等の耐摩耗性能を照査するための摩耗試験を確立し、適切な材料選定を可能にする必要がある。

写真-1に頭首工エプロン部および用水路側壁部の摩耗状況の例を示す。これらのコンクリートにおける粗骨材の露出は、摩耗が進行した状況にあることを示している。写真-1だけでは判読し難いが、両者の摩耗状況は大きく異なっている。頭首工エプロン部の摩耗では、コンクリートの骨材および周りのセメント分は、ほぼ一様に摩耗が進行しているのに対し、用水路側壁の摩耗では、コンクリートの骨材はほとんど摩耗せず、周りのセメント分だけが摩耗し、摩耗表面が凹凸の状況を形成している。この両者の摩耗状況の相違は、摩耗機構の相違および材料の相違に起因している



頭首工エプロン (長野県)



用水路側壁 (茨城県)

写真-1 農業水利施設の摩耗状況

と考えられる。

摩耗機構は、固体と固体との相対運動（すべり、転がり、衝撃、振動）と、固体と液体との相対運動（エロージョン、キャビテーション）に分類される¹⁾。しかし、摩耗現象の多くは、単一の摩耗機構によるものではなく、複数の摩耗機構が複合的に作用しており複雑である。先に示した農業水利施設の摩耗機構の相違では、頭首工エプロン部においては、流水中に含まれる礫による転がり・衝撃摩耗が主要因と考えられ、一方、用水路側壁部においては、流水および流水中の砂分によるエロージョン摩耗が主要因と考えられる。また、コンクリート材料の相違では、頭首工エプロン部においては、水セメント比の低い高強度コンクリートが用いられているため、骨材周りのセメント部の耐摩耗性能が高いのに対し、水路側壁部においては、頭首工エプロン部に比べて水セメント比が高いコンクリートが用いられているために骨材周りのセメント部の耐摩耗性能が低くなっている。これらの原因が摩耗表面の形成に差異をもたらしていると考えられる。

なお、農業水利施設における両摩耗機構の作用力の比較では、粗骨材の摩耗を進行させる礫による転がり・衝撃摩耗が、粗骨材の摩耗を進行させない流水および砂によるエロージョン摩耗よりも大きいと考えられる。このように摩耗機構が異なる場合の材料の耐摩耗性能の評価では、想定する摩耗機構に応じた摩耗試験を選定する必要がある。

3. 摩耗試験

摩耗現象の多くは複数の摩耗機構が作用して複雑であるため、種々の試験方法が提案されている一方、規格化された試験方法が少ない状況にある²⁾。セメント系材料の摩耗試験に用いられている JIS 規格としては、JIS A 1453「建築材料及び建築構成部分の摩耗試験方法（研摩紙法）」、JIS K 7204「プラスチック摩耗輪による摩耗試験方法」、などがある。また、米国 ASTM 規格としては、ASTM C 418「サンドブラストを用いたコンクリートの耐摩耗性標準試験方法」、ASTM C 1138「コ

ンクリートの耐摩耗性標準試験方法（水中法）」、などがある。規格以外では、「ロッド式すりへり試験機」³⁾、「掃流式摩耗試験機」⁴⁾、「衝撃摩耗試験機」⁵⁾などを用いた試験方法が提案されている。

頭首工エプロン部における転がり・衝撃摩耗を模擬する試験としては、ロッド式すりへり試験、衝撃摩耗試験、JIS K 7204 試験が適切であるとされる。一方、用水路側壁部におけるエロージョン摩耗を模擬する試験としては、ASTM C 418、ASTM C 1138、掃流式摩耗試験が考えられる。農村工学研究所では、エロージョン摩耗を対象とした試験機として、ASTM C 418 よりも試験機の構造が単純で経済性に優れ、ASTM C 1138 および掃流式摩耗試験よりも試験体形状の自由度が高い（採取コアによる試験も可能な）試験機である水噴流摩耗試験機を開発した^{6)・7)}。本試験機は、試験体に高圧の水噴流を衝突させることにより、流水によるエロージョン摩耗を促進して模擬する試験機である。

4. 水噴流摩耗試験

水噴流摩耗試験機の概要を図-1に示す。本試験機は、試験体を取り付ける本体と水噴流を発生させる吐出装置により構成される。本体は、試験体（296 × 142 × 60 mm、または、70 × 70 × 20 mm）6個を設置可能な回転ドラムとドラムを回転させる駆動モーターで構成される。駆動モーター

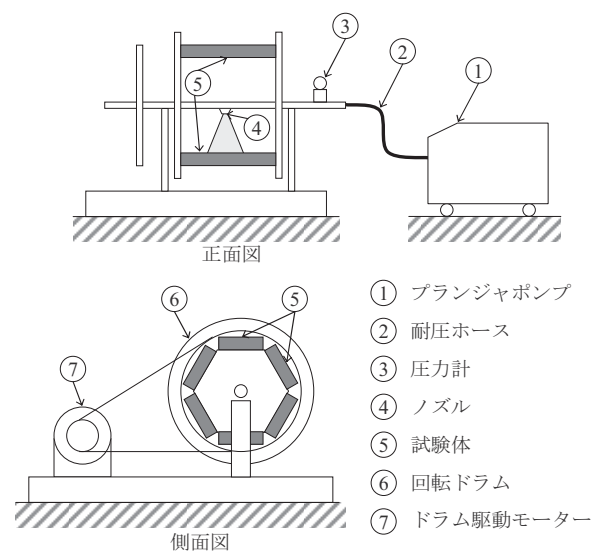


図-1 水噴流摩耗試験機の概要

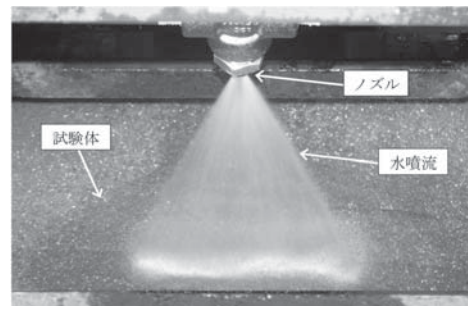
ターの回転を制御することにより、ドラムを一定速度で回転させることが可能である。吐出装置は、プランジャポンプ、耐圧ホース、ノズルより構成される。吐出装置の使用液体は水道水で、プランジャポンプにより加圧された後、耐圧ホースを経て本体の回転ドラム中心部に設置されたノズルより試験体に噴射される（写真－2）。吐出圧力は、0～20 MPaで調整可能である。

コンクリート試験体の摩耗状況およびその経時変化の例を写真－3および写真－4に示す。写真－4からは、試験体への水噴流の衝突によって、セメント分が脱離し、骨材が露出する摩耗進行過程が確認できる。

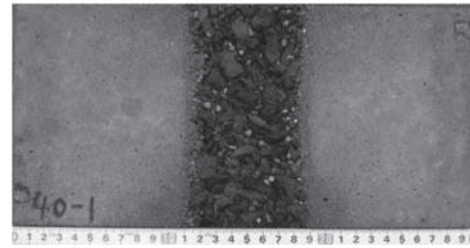
試験体の摩耗量としては、重量（水中、気中）および摩耗深さを計測する。水中重量と気中重量を用いることで試験体の見かけの体積が求まり、体積減少分が摩耗体積として求まる。摩耗深さは、所定の試験時間経過後に試験体の摩耗表面の凹凸をレーザー変位計により計測する。図－2に示すように試験体の長辺方向にレーザー変位計を移動させながら1 mm 間隔で摩耗深さのデータを収集する。これを短辺方向に5 mm 間隔で計11本の走査線について計測する。また、計測されたデータの中で、試験体中心部の50 mm 四方に含まれる深さデータ（51 × 11=561点）の平均値を平均摩耗深さとする。

本試験機を用いたこれまでの研究結果から、試験体の摩耗量の指標としては、平均摩耗深さの経時変化が適切と判断された。これは、重量の場合には、試験期間中に試験体の欠けなどが生じると値が大きく変化し、正確な摩耗量が把握できなくなるのに対して、平均摩耗深さは、摩耗表面が大きく損傷しない限り、摩耗量を把握することが可能であり、より頑健な指標と考えられるからである。また、平均摩耗深さであれば、補修材料の供用期間中の摩耗代を試算することも容易となる。

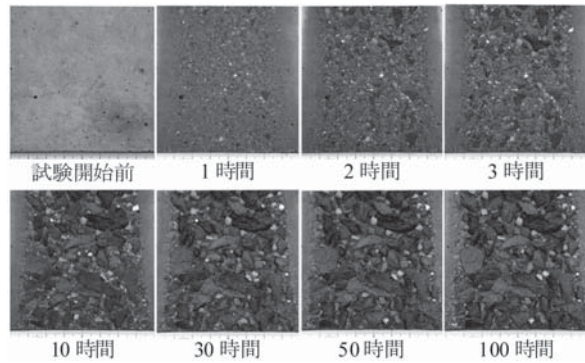
ところで、本試験の結果を用いた摩耗量以外の補修材料の性能評価として、表面粗さ（表面の凹凸状況）から推定粗度係数を求め、補修施工後の粗度係数の変化を予測することが考えられる。粗度係数が推定できれば、通水性能を評価できるか



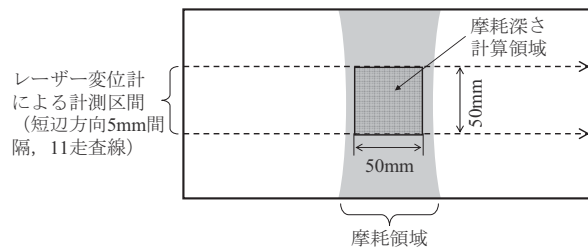
写真－2 水噴流の状況



写真－3 コンクリート試験体の摩耗状況



写真－4 コンクリート試験体の経時変化 (吐出圧力 15 MPa)



図－2 試験体の摩耗深さ計測

らである。推定粗度係数は、以下の式⁸⁾より求める。

$$n = 0.042k_s^{1/6} \dots\dots\dots (1)$$

$$k_s = 2 \times R_a \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 n :マニングの粗度係数、 k_s :相当粗度、 R_a :算術平均粗さ、である。

図－3にコンクリート試験体の推定粗度係数の

算定例を示す。この図より、試験時間の経過とともに平均摩耗深さおよび推定粗度係数が増加することが確認できる。

5. 補修材料の促進摩耗試験

図-4に補修材料6種,セメントペースト1種,モルタル2種の試験結果を示す。平均摩耗深さの経時変化は補修材料により異なるため,材料間の定量的な相対比較が可能であることが示された。また, W/C = 50%セメントペーストでは, 試験時間と平均摩耗深さとの間にはほぼ線形性を有していることが見出された。これは, セメントペーストがより均質な試験体であるためであり, このセメントペーストを標準試験体として用いれば, 異なる吐出圧力における試験結果間の相関が把握でき, 統合して比較できる可能性が示唆された。

6. 今後の課題

水噴流摩耗試験は各材料の耐摩耗性能および通水性能の相対的な評価に用いることはできるが, 各現場における要求性能を満たしているか否かは判定できないという課題がある。その理由としては, ①水噴流摩耗試験の試験時間と現場水路の供用年数との相関が把握されていないこと, ②各現場水路における摩耗作用力の強弱に差があること, などが挙げられる。①については, 現場水路から採取したコアを水噴流摩耗試験に供することにより, 試験時間と実供用年数との相関は把握できると考える。また, ②についても, 試験時間と実供用年数との相関が把握できれば, 各現場における試験時間の閾値を各々設定することで, 補修材料が要求性能を満たすか否かが現場ごとに判定できると考える。

水噴流摩耗試験機を用いた粗度係数の推定方法についても今後のデータ蓄積により, より適切な手法を確立する予定である。

参考文献

- 1) 堀口敬：コンクリートの摩耗に関する研究の現状, コンクリート工学, Vol.31, No.10, pp.17-27, 1993
- 2) 石田知子：水理構造物のコンクリートの摩耗評価に

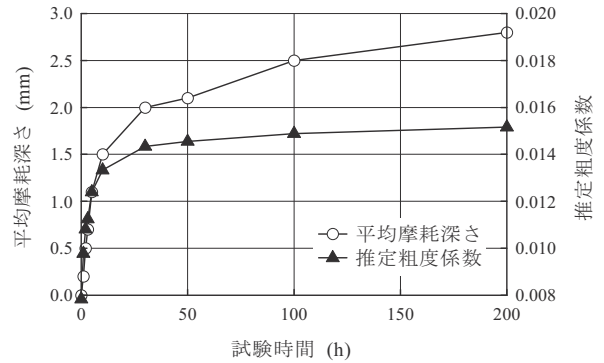


図-3 コンクリート試験体の平均摩耗深さと推定粗度係数の経時変化 (吐出圧力 15 MPa)

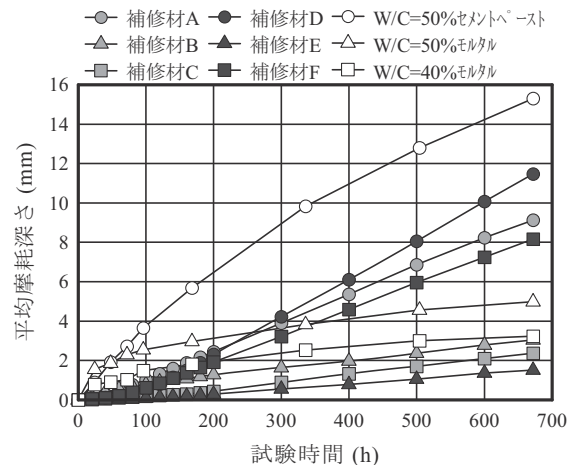


図-4 補修材料の平均摩耗深さ変化 (吐出圧力 4.5 MPa)

関する試験方法の現状, コンクリート工学, Vol.45, No.3, pp.50-54, 2007

- 3) 奥田徹：コンクリート構造物のすりへり摩耗による機能的寿命とその再生, 第57回コンクリート講習会テキスト, (社)セメント協会, pp.65-78, 1984
- 4) 杉田英明, 永松武教, 大和竹史：小水力ダムコンクリートの耐摩耗性評価に関する一考察, コンクリート高学年事項宴会論文集, pp.885-888, 1986
- 5) 豊福俊英, 豊福俊泰：各種コンクリートの衝撃摩耗特性に関する実験的研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.21, No.2, pp.901-906, 1999
- 6) 石神暁郎, 森充広, 渡嘉敷勝, 増川晋：農業用水路コンクリートに生じる摩耗現象と促進試験方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.27, No.1, pp.805-810, 2005
- 7) 渡嘉敷勝, 森充広, 中矢哲郎, 森丈久：水流摩耗試験における吐出圧力および回転速度が摩耗性状に及ぼす影響, コンクリート工学年次論文集, Vol.30, No.1, pp.705-710, 2008
- 8) 中矢哲郎, 渡嘉敷勝, 森充広, 森丈久：摩耗したコンクリート水路表層形状からの粗度係数推定手法, 農業農村工学会論文集, No.258, pp.501-506, 2008