

補修工法の品質評価試験に関する考察

農研機構 農村工学研究部門
 施設工学研究領域 施設保全グループ
 グループ長 森 充広

補修材料に求められる性能（無機系表面被覆） 農研機構 NARO

表 3. 2. 1. 1-1 無機系被覆工法に使用する材料・工法の品質規格（例）

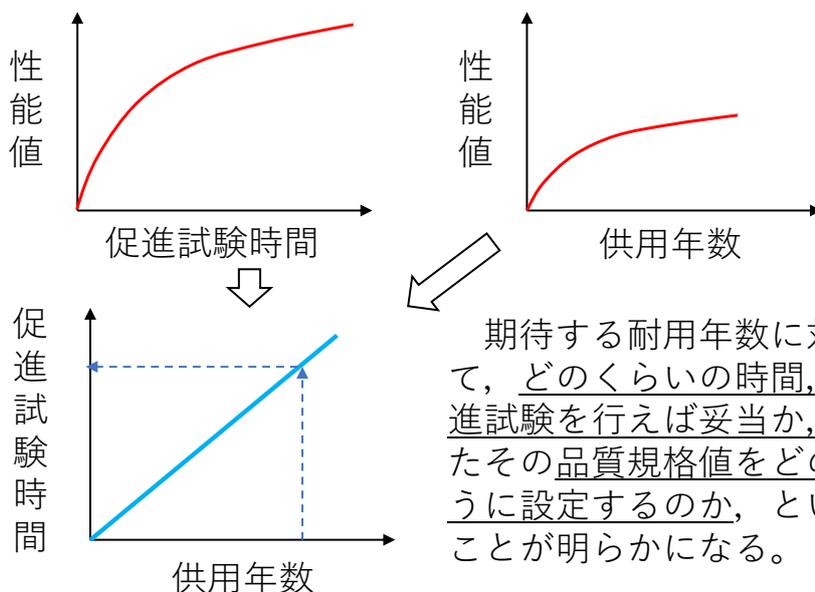
要求性能項目	品質項目	照査方法	品質規格値(案)		
基本的性能	中性化抑止性	中性化速度	JIS A 1153 (4週間)	中性化深さ 5mm 以下 中性化速度係数 18mm/√年 *1以下	
	付着性	付着強度	JSCE-K 561 (乾湿・温冷 繰返し回数 は 10 サイ クル*1)	標準条件	1.5N/mm ² 以上
				多湿条件	
				低温条件	
				水中条件*2	1.0N/mm ² 以上
				乾湿繰返し条件	
	温冷繰返し条件				
一体化性	圧縮強度	JSCE-K 561 (28日間養生)	21.0N/mm ² 以上		
寸法安定性	長さ変化率	JIS A 1129 *3	0.05%以下		
耐摩耗性	摩耗深さ	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験 (案) (材齢 28 日、10 時間経過後*1)	標準供試体に対する平均 摩耗深さの比が 無機系：1.5 以下 HPFRCC：2.5 以下		
個別的 性能	耐凍害性	相対動弾性係 数	JIS A 1148 (A 法 300 サイクル)	85%以上	

要求性能項目	品質項目
中性化抑止性	中性化速度
付着性	付着強度
一体化性	圧縮強度
寸法安定性	長さ変化率
耐摩耗性	摩耗深さ
耐凍害性	相対動弾性係数

品質規格によって、こうした性能項目および品質規格値が規定されている



現地に施工した補修材料の性能も、これらの性能項目にしたがってモニタリングする



2

現地実証試験による補修工法のモニタリング



北海道



岩手



香川

ストマネ開始当初、全国各地でPR施工が実施された。また、農林水産省においても、ストックマネジメント技術高度化事業等により、補修工法の比較のための試験施工が実施されている。

これらの現地については、定期的にデータを収集しつつ、それを新たなマニュアルの品質規格にフィードバックしていく仕組みが必要である。

3

中性化深さ測定のためのコアビット法



摩耗量の測定法



レーザー

デプスゲージ

円形付着子を用いた付着試験法



4

本日の話題提供 照査方法について

表 3. 2. 1. 1-1 無機系被覆工法に使用する材料・工法の品質規格 (例)

要求性能項目	品質項目	照査方法	品質規格値(案)	
基本的性能	中性化抑止性	中性化速度	JIS A 1153 (4週間) 中性化深さ 5mm 以下 中性化速度係数 18mm/√年 *1以下	
	付着性	付着強度	標準条件	1.5N/mm ² 以上
			多湿条件	
			低温条件	
			水中条件*2	1.0N/mm ² 以上
			乾湿繰返し条件	
一体化性	圧縮強度	JSCE-K 561 (28日間養生)	21.0N/mm ² 以上	
寸法安定性	長さ変化率	JIS A 1129 *3	0.05%以下	
耐摩耗性	摩耗深さ	表面被覆材の水砂噴流摩耗試験 (案) (材齢 28 日、10 時間経過後*1)	標準供試体に対する平均摩耗深さの比が 無機系: 1.5 以下 HPFRCC: 2.5 以下	
個別的性能	耐凍害性	相対動弾性係数	JIS A 1148 (A法 300 サイクル) 85%以上	

今日はこちらについて

5

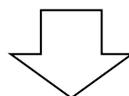
品質評価のあり方

(照査方法と品質規格値)

品質評価のあり方



- (1) **農業水利施設特有の環境条件にある**補修材料の品質評価試験として、JISや土木学会等の**他機関の規準に準拠できないケース**がある
- (2) 工種別の「補修補強マニュアル」作成や改訂の検討委員会で種々の議論がなされているが、**試験方法、評価方法に議論が集中する**ことがある。**検討委員会では、どの試験方法が適切なのか、またその品質規格をどう設定するか、など、耐久性照査の考え方の基本を議論すべき**では？



農業水利施設に用いられる補修材料に特化した品質規格の作成の必要性

- 理想は、JIS、JSCEなどの基準（規準）書のように、番号で管理される
- 試験方法について、誰でも提案できる
- 提案された試験方法の手順、方法、結果の整理などについては、提案者、関連の民間、学識経験者を含めた検討委員会で議論する
- 認定機関であればどこでも実施できる

① 現状と課題

- マニュアル作成当初は、**他分野の品質規格試験を活用**
- 現場のモニタリングデータが収集されつつある
- **農水特有の環境条件を考慮する** ことが必要
- **研究機関が発案した独自規格 ⇒ 実施機関が限定される**

② 今後

- 現状のモニタリング結果を踏まえた**品質規格試験方法、品質規格値の見直し**
- 研究事例の収集
- JISなどの**公的認証を受けた機関で実施できる試験方法**（案）

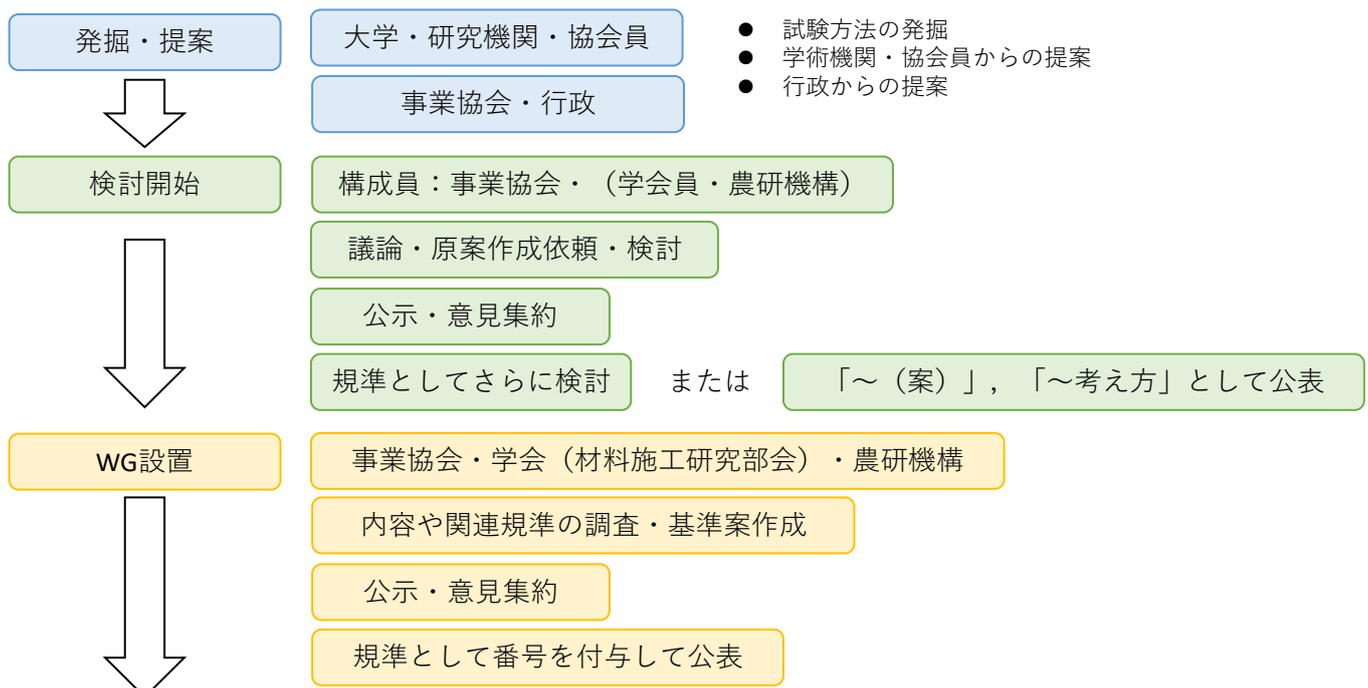
- 農業水利施設特有の環境は「かんがい期間水と接触する」こと。
- 農水独自に行わなければならない試験としては、例えば**摩耗に対する抵抗性、目地の耐久性**などに関する試験がある。

（例えば）JAGREE101 「水路目地充填工法に用いられるシーリング材の耐久性評価」（石川県立大学 森丈久、2021）では、現在の基準（23°Cの水中に28日間の浸漬後の引張特性）では問題がないものの、それ以上の期間、水中に浸漬することにより、著しく性能が低下するものも見られたと報告している。

8

品質評価試験の検討フロー（案）

厳しい検証はせずに、「査読付き論文で提案された方法を試験法として書換え」くらいのイメージ



出版：「試験法および考え方」、「要約版（大学・研修・講習会用テキスト）」、公表シンポジウム（講習会）開催

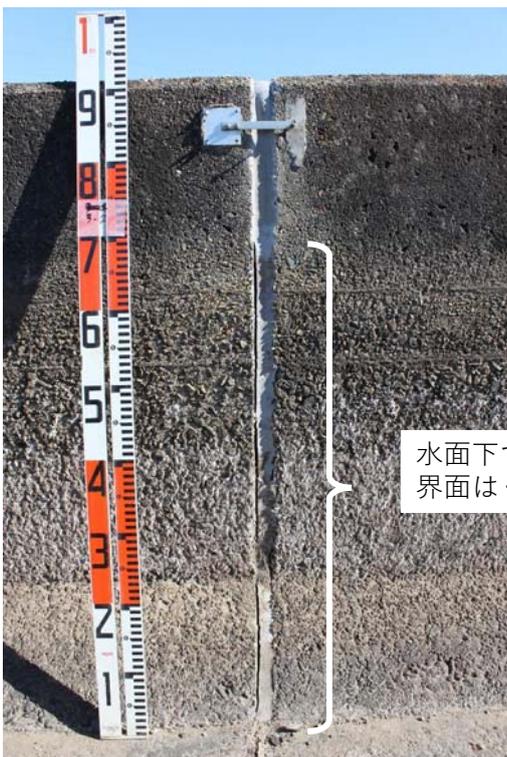
9

水中疲労試験による目地補修材の 接着耐久性照査

農業用水路の目地材の劣化



十分な伸縮量を有している建築用シーリング材でも、はく離する例が見られる。



水面下での
界面はく離



気中部でも界面はく離の
ケースがないわけではない



水中・・・界面はく離
気中・・・凝集破壊 のイメージがある

農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【開水路編】（案）

表 3.2.4-2 目地充填工法に使用する材料・工法の品質規格(例)

要求性能項目	品質項目	照査方法		品質規格値(案)	
基本的性能	耐候性	紫外線による劣化	JSCE-K 511 (キセノン1,000時間又はサンシャイン600時間)*1		膨れ、ひび割れ、剥がれないこと
	付着性	伸び率	JIS A 1439 の 5.20 の「引張接着性試験」	標準条件	伸び100%以上
			+23℃水中で28日浸漬後、JIS A 1439 の 5.20 の「引張接着性試験」	水中条件	伸び60%以上
			5℃で28日養生後、JIS A 1439 の 5.20 の「引張接着性試験」	低温条件	伸び100%以上
	止水性	水圧による漏水	目地充填工法の止水性試験方法(案) (試験水圧0.1MPa、水圧保持時間3分)。		漏水が認められないこと
	伸縮追従性	伸縮による剥離・破断	JIS A 1439 の 5.17 の「耐久性試験」における目地幅の拡大・縮小。 変形率±20%×繰返し回数3,650回*1。 評価はJIS A 5758 の 8.「検査」による。		剥離・破断のないこと
	耐水性	吸水率	+23℃水中で28日浸漬後、JIS K 6251 ダンベル2号試験体の重量変化率をJIS A 1439 の 5.20「養生後」と比較。		吸水率10%以下
形状安定性	50%モジュラス	JIS A 1439 の 5.20 の「引張接着性試験」		50%モジュラス 0.2N/mm ² 以上	

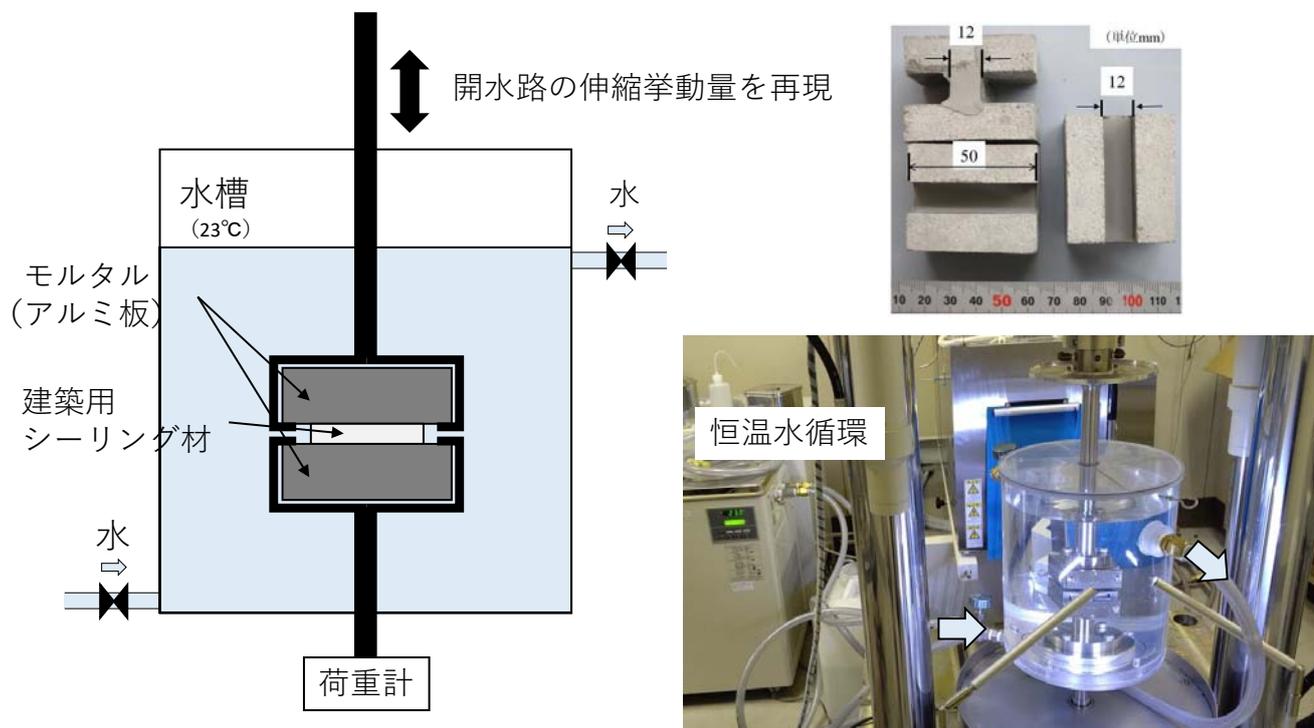
*1 補修の効果が期待される期間を10年とした場合の例を示す。右欄に示す規格値(案)も同じ。

同時に作用させる条件にはなっていない。

12

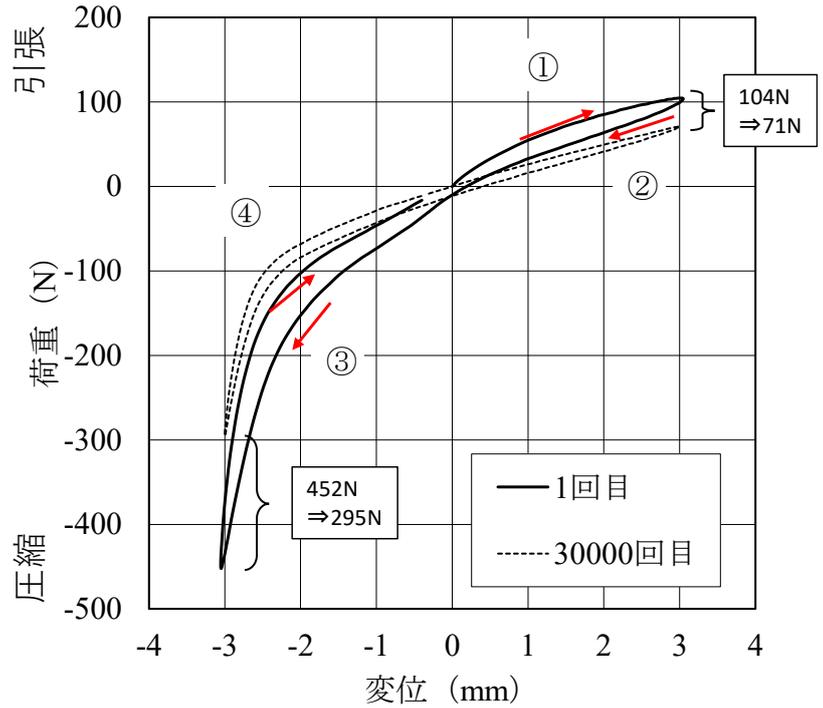
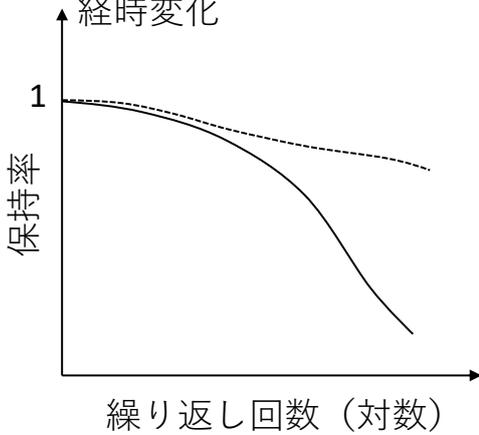
研究の目的

水中部に界面はく離が発生しやすいと考えられる。そこで、より過酷な条件として、水中浸漬状態で伸縮追従性試験を実施し、接着耐久性を照査することが可能か、また水中はく離のメカニズムを明らかにする。



13

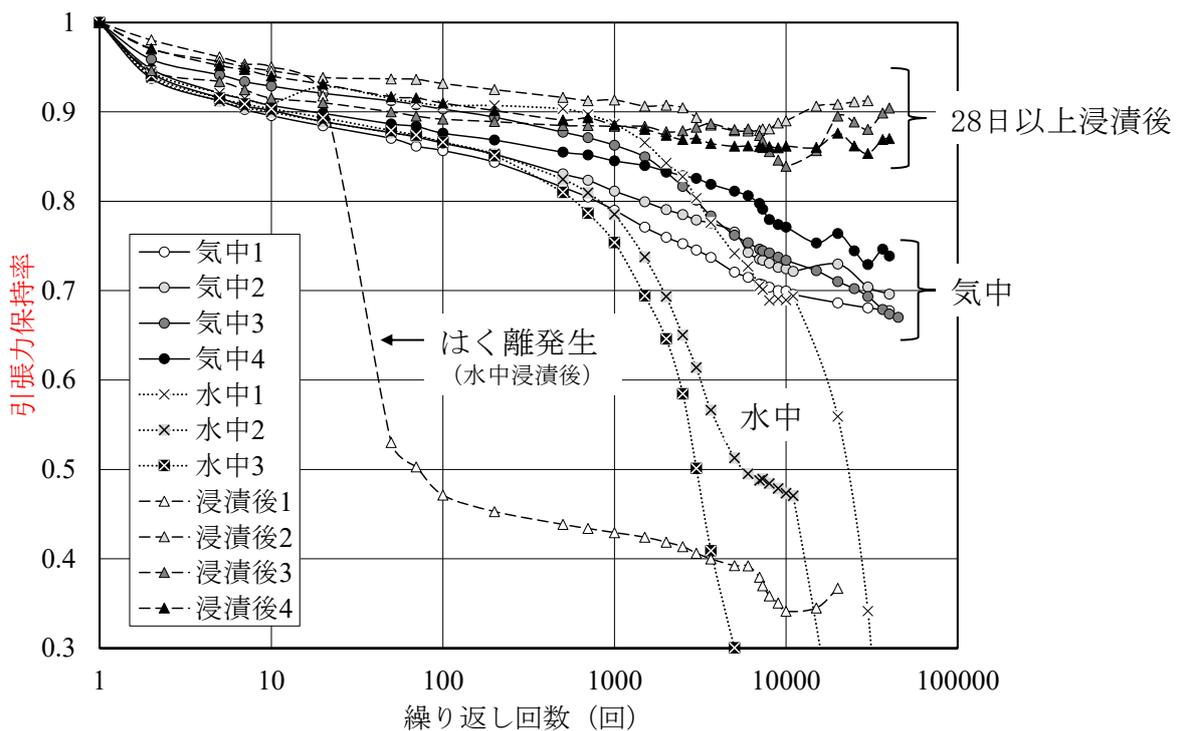
1. はく離の有無
2. 圧縮力、引張力の保持率の経時変化



試験条件：

- 繰り返し回数は最大50,000回まで
- 0.2Hz (5秒で1回伸縮 12回/min)
- 伸縮量±3mm (25%)
- それぞれの供試体について、**気中**、**水中**を実施。供試体によっては**水中に28日以上水に浸漬後**の試験も実施。

供試体A：引張



回転式水中摩耗試験における コンクリートおよびモルタルの摩耗特性

鋼球落下による衝撃摩耗
耐久性評価試験に関する研究

耐摩耗性 ～頭首工エプロン～

頭首工



固定堰直下の摩耗



鉄筋の露出



複数工法の耐摩耗性の比較検証

100ha以上の農地を受益面積とする頭首工は全国に1,953箇所ある。このうち、**約4割が建設後50年以上を経過**。

農林水産省では、補修・補強対策による農業水利施設の長寿命化（ストックマネジメント）の取り組みを実施。

頭首工エプロンについては、複数工法の実証試験を通じて、補修・補強材料に求められる性能について検討が進められている。

検討中「農業水利施設の補修・補強工事に関するマニュアル【頭首工編】（案）」

頭首工
エプロン

掃流力によるすり磨き



回転式水中摩耗試験

礫による衝撃的な摩耗



鋼球落下式
衝撃摩耗試験方法

表面保護としてH鋼を敷いている頭首工エプロンの例

回転式水中摩耗試験

頭首工における補修材の耐摩耗性を評価する試験として、「**回転式水中摩耗試験**」を開発

頭首工で想定される摩耗要因

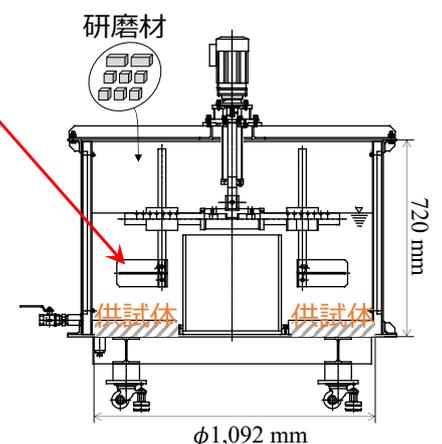
- ① レキなどの掃流によるすり磨き
- ② 転石などによる衝撃



試験時装置の外観



槽内の様子



試験機の底に台形型の供試体15枚を円環状に敷設
その上に、**研磨材を含む水流**を発生させる（**レキの掃流**を模擬）

試験機内の流況が安定し、摩耗作用が大きくなる条件として以下を選定

条件項目	内容
投入水量	水深40cm相当
回転板の回転速度	70回/分
研磨材の材質	鋼材 (SS400)
形状	角柱 (19×19×20mm)
数量	80個
試験時間	24時間

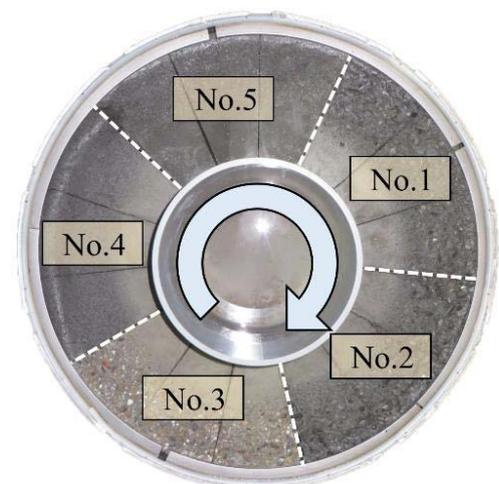


20

実験概要：供試体

No.	材料名	設計強度 (N/mm ²)	粗骨材最大寸法 (mm)
1	コンクリートA	18	40
2	コンクリートB	18	20
3	コンクリートC	40	20
4	モルタル	40	-
5	UFC (超高強度繊維補強コンクリート)	180	-

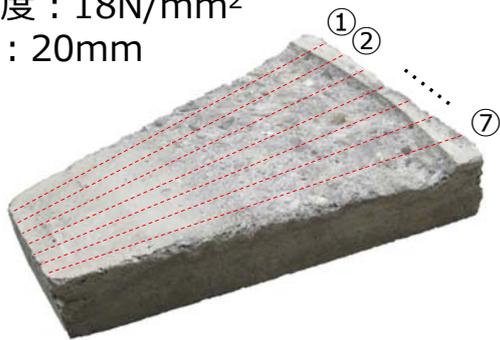
- 強度や粗骨材の有無・大きさが異なる5つの材料を選定
- 各材料3体を連続して配置
- No.1～No.5の順番で水流方向に配置



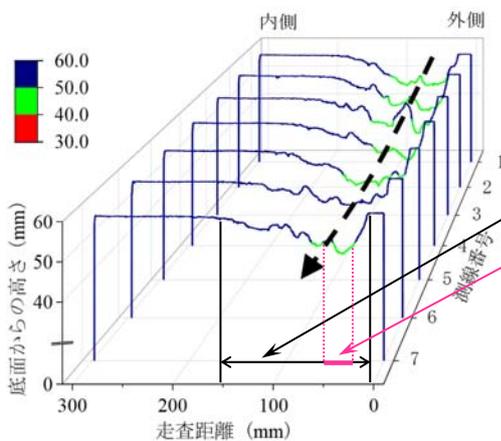
21

①供試体に発生する摩耗の形状

コンクリート (b)
設計強度：18N/mm²
Gmax：20mm



モルタル (S/C=3)
設計強度：40N/mm²
粗骨材なし



- 粗骨材の露出による凹凸面が形成

摩耗領域の幅は150mm程度

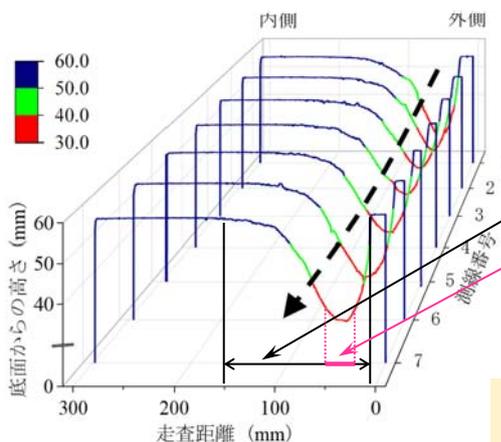
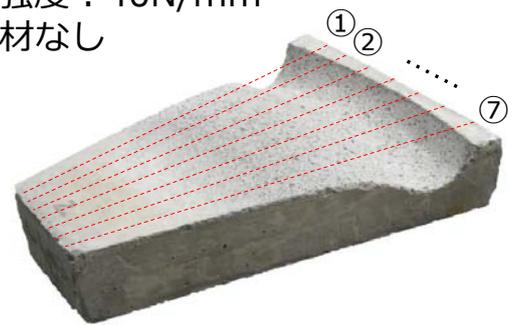
平均的にみると摩耗領域の外縁から30~40mmの範囲で摩耗深さが最大

①供試体に発生する摩耗の形状

コンクリート (b)
設計強度：18N/mm²
Gmax：20mm



モルタル (S/C=3)
設計強度：40N/mm²
粗骨材なし



- 下に凸のピークをもつ曲面が形成
(粗骨材を含まないため、研磨材の経路に溝ができる)

摩耗領域の幅は150mm程度

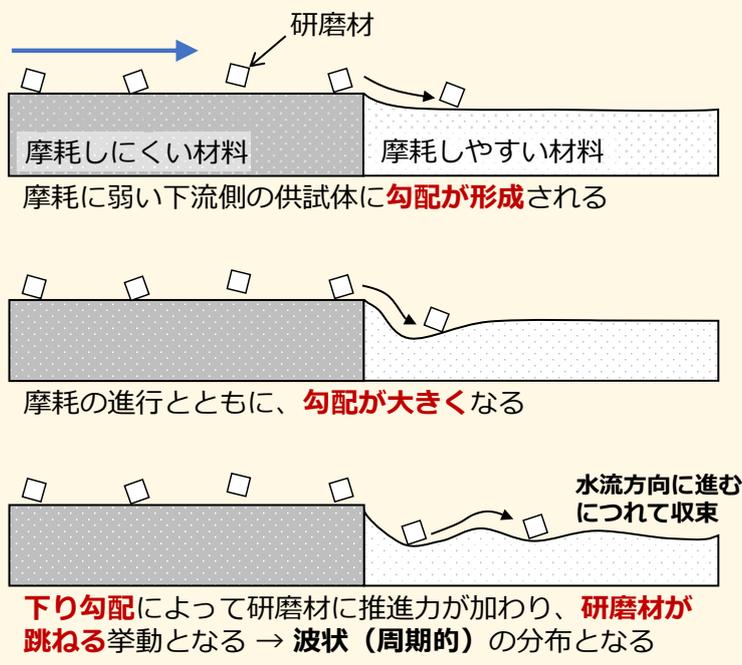
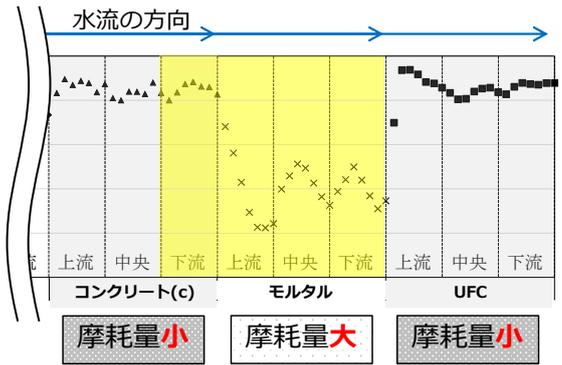
平均的にみると摩耗領域の外縁から30~40mmの範囲で摩耗深さが最大

摩耗が発生する範囲，集中的に力が作用する範囲は試験条件に依存し，材料による違いはない

水流方向の摩耗分布（考察）

モルタルとUFCの共通点

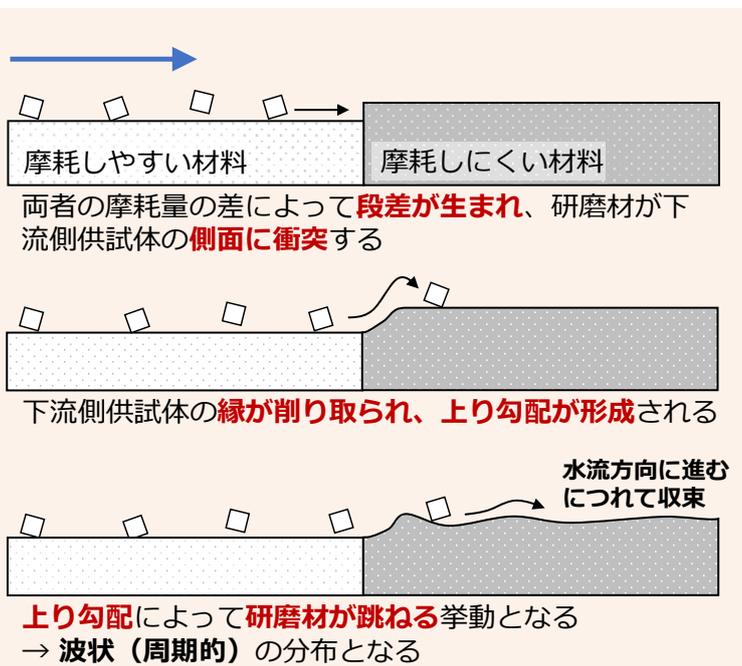
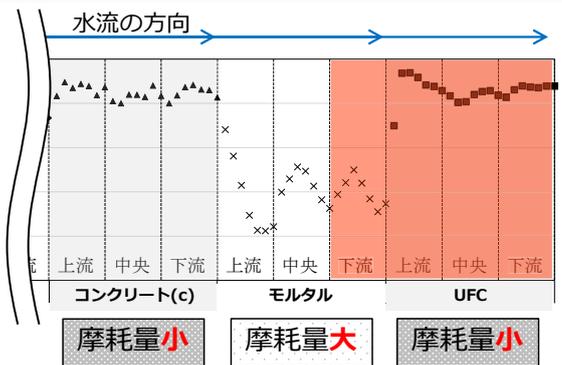
- 粗骨材を含まない材料である
- 上流側に摩耗量（耐摩耗性）が大きく異なる材料が配置されている



水流方向の摩耗分布（考察）

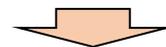
モルタルとUFCの共通点

- 粗骨材を含まない材料である
- 上流側に摩耗量が大きく異なる材料が配置されている



まとめ

摩耗量が大きく異なる材料が隣接する場合、その並び順に依らず、**下流側の材料に影響が及ぶ**



複数の材料を同時に試験する際は、供試体の並び順に注意が必要

回転式水中摩耗試験における コンクリートおよびモルタルの摩耗特性

鋼球落下による衝撃摩耗 耐久性評価試験に関する研究

衝撃摩耗に関する研究事例



過去の研究事例

表-1 衝撃式摩耗試験の仕様の例

提案者	供試体寸法 (mm)	鋼球の重量 (g)	鋼球の直径 (mm)	落下高さ (mm)	最大落下回数 (回)	設置角度 (°)
豊福ら ²⁾	150×150×t150	95, 321, 508, 795	29, 43, 50, 58	98, 394, 886, 1,575, 2,460, 4,823	800	10, 20, 30
松田ら ⁷⁾	150×150× t (100,110,130)	1,386	69.85	1,000	500	0
松尾ら ¹³⁾	150×150×t200	536	51	1,000	800	30
豊福・豊福 ¹⁴⁾	150×150×t150	509.2	50	1,000	500	30
市川・片桐 ¹⁵⁾	400×400×t450	1,500	70	1,500	3,000	0

供試体の寸法，試験方法，試験装置の構造などは過去の研究事例を踏襲することを前提とし，鋼球は規格化されている入手しやすいものを選定した。

本研究における仕様

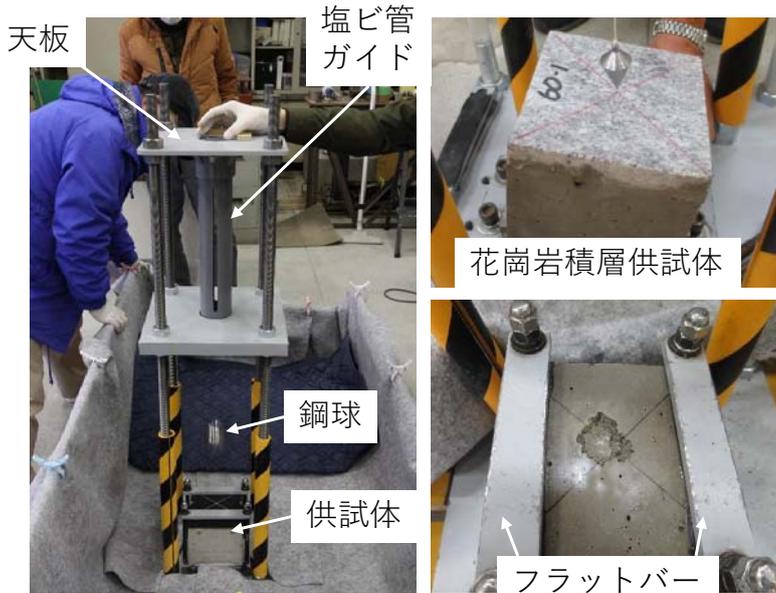
鋼球：高炭素クロム軸受け鋼鋼材（SUJ2） 直径63.5mm、重量1,041.7g

供試体寸法：150×150×t 150mm

供試体設置角度：10°

落下高さ：1,000mm

落下回数：500回まで（途中50、100、200、300、400回時に取り外して計測）



1. 供試体の中心が天板から1,000mmになる位置にフラットバーで固定
2. 人が天板から鋼球を自由落下させる
3. 所定の回数鋼球を落下させたら供試体を取り外し、重量、水中重量、最大摩耗深さを計測
4. 計測後、供試体を同じようにセットし、試験を継続
5. 供試体にひび割れが発生するか、500回落下時点で終了

本実験における確認事項

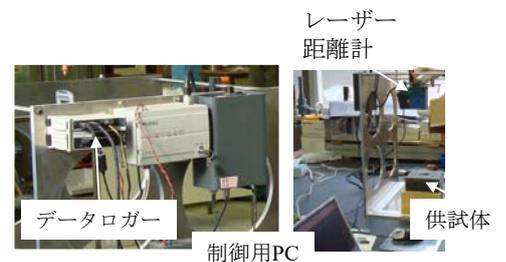
- ① 試験装置の特性把握：試作装置による試験結果と過去の研究事例との比較。
- ② 150mmよりも薄い補修・補強材料の評価：補強材の種類によっては、今回対象としたt150mmの供試体作製が困難なものも存在する。この場合に、嵩上げするコンクリートの強度の影響を評価する必要がある。

28

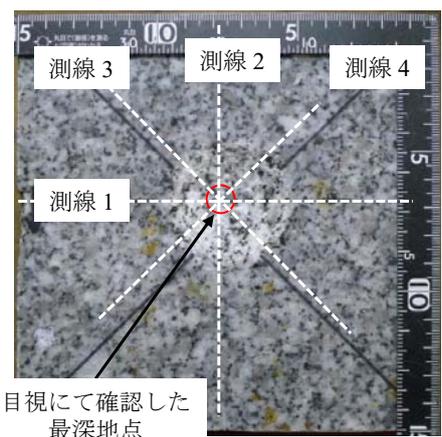
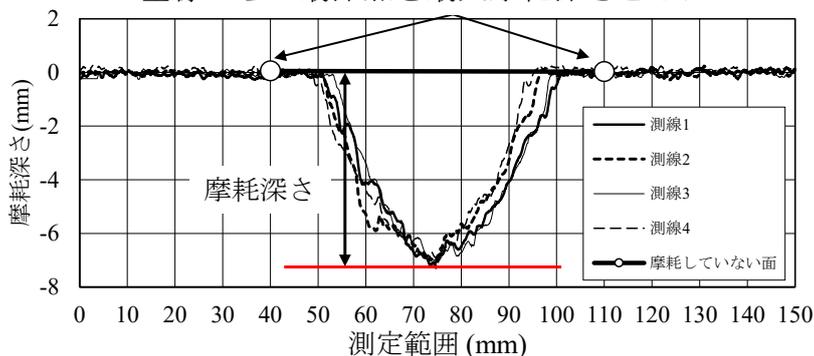
実験ケースおよび測定方法

供試体 (n=2)	摩耗対象 (mm)	嵩上げ Co	強度 (N/mm ²)	静弾性係数 (N/mm ²)
LG	150×150×t30 (花崗岩)	LC	花崗岩 (曲げ) 22.0N/mm ²	
MG	+	MC		
HG	150×150×t120 (嵩上げCo)	HC		
LC		-	29.0	22,100
MC	150×150×t150	-	40.5	24,700
HC		-	57.2	26,700

レーザー距離計による最大摩耗深さの計測



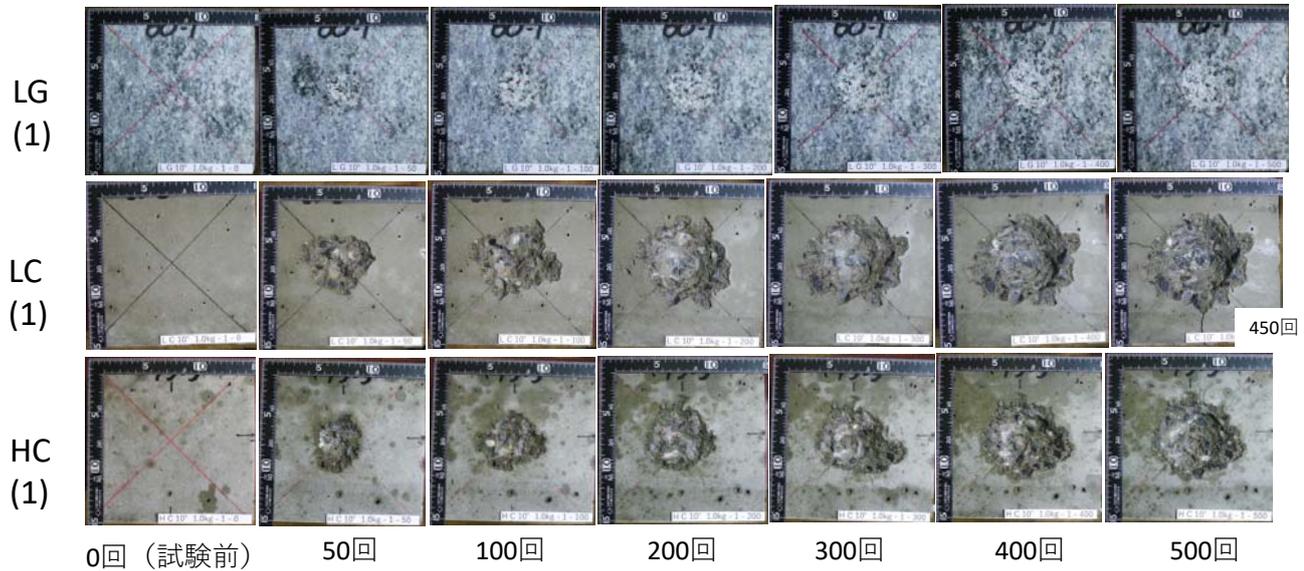
摩耗していない2点を結ぶ直線を基線とし、基線からの最深点を最大摩耗深さとした



29

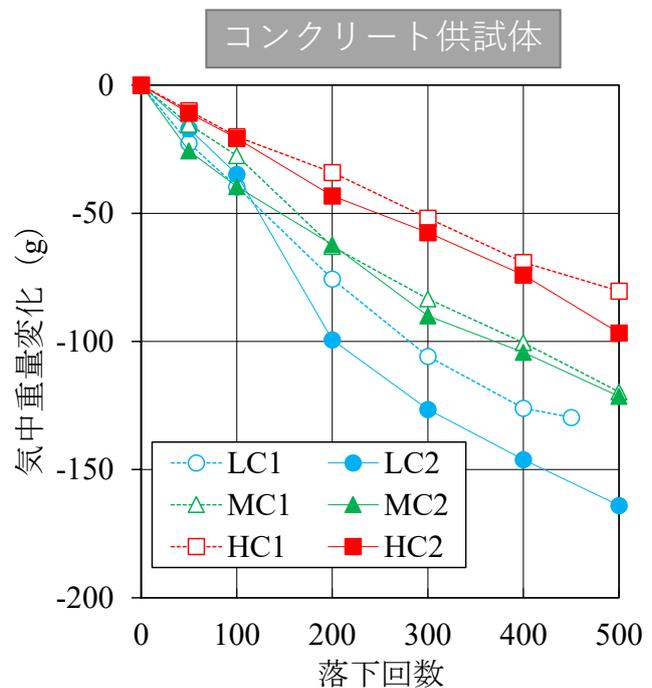
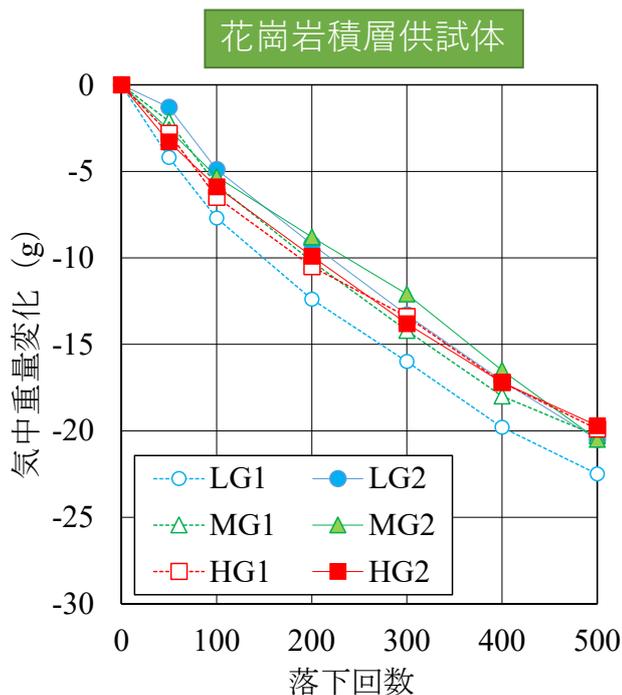
結果：外観変化

- 落下回数の増加とともに表面が削られることが確認できた。
- 強度が大きい花崗岩はお椀状、コンクリートは広範囲が摩耗し、場合によっては骨材が脱落して局所的なくぼみができることがあった。



30

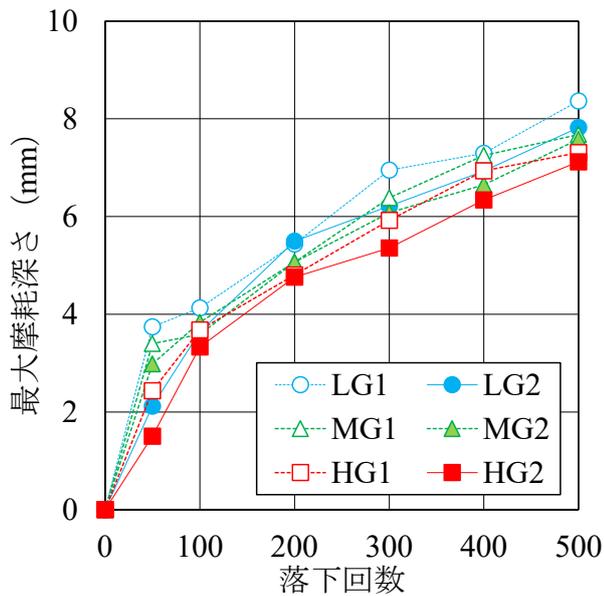
結果：気中重量変化



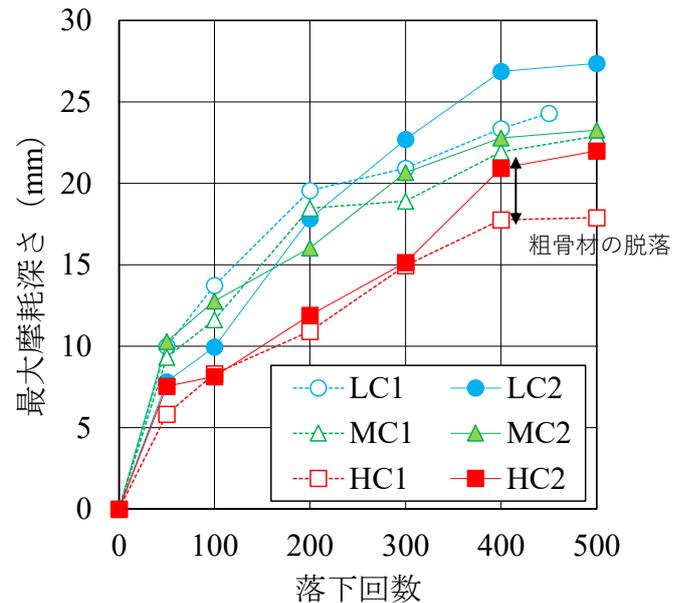
31

花崗岩積層供試体は、嵩上げするコンクリートの強度が変化しても、重量変化に顕著な差は生じていない。コンクリート単体であれば、強度が大きくなるにつれて重量変化は小さくなった。

花崗岩積層供試体



コンクリート供試体



花崗岩積層供試体，コンクリート単体の供試体とも，コンクリート強度が高いほど最大摩耗深さは小さくなる傾向はある。しかし，その傾向は花崗岩積層供試体ではごくわずかで，影響はほとんどない。

32

まとめと課題

- ① 重量1,041.7gの鋼球を，高さ1,000mmから落下させる鋼球落下式衝撃摩耗試験装置を試作し，花崗岩およびコンクリート供試体の耐摩耗性・耐衝撃性を照査した結果，**圧縮強さが大きい材料ほど，耐摩耗性・耐衝撃性を有する**結果が得られた。
- ② 供試体の厚み150mmを確保できない頭首工エプロンの補修・補強材料を本試験による評価する場合，嵩上げコンクリートにより供試体高さを150mmに調整した積層供試体での評価が可能である。また，その**嵩上げコンクリートの強度は品質評価を行う補修・補強材料と同程度の圧縮強さであれば，嵩上げコンクリート自体が試験結果に及ぼす影響は小さい。**
- ③ **落下回数500回の根拠を整理**する必要がある。