

論文 コンクリート打継面の形状が構造物の力学特性に与える影響

石関 嘉一^{*1}・中林 拓馬^{*2}・宮入 齋^{*3}・小俣 光弘^{*4}

要旨: コンクリート構造物で打継部が生じる場合、適切な施工や処理を行わないと構造物の弱点となり、耐久性や力学的特性の低下につながる。そのため、既に打ち込まれた下層コンクリート上部のレイタンス処理を行ってから打ち継ぐことが重要である。下層コンクリートのレイタンス処理後のコンクリートの露出状況によりコンクリート構造物の力学特性にどのような影響を及ぼすか、コンクリートのレイタンス処理量を調整して4つの処理深さを再現し、各実験を行った。その結果、レイタンス処理後の粗骨材の凹凸を評価することで、適切な打継ぎ施工が行えることが確認できた。

キーワード: 打継, レイタンス, 粗骨材, 一面せん断試験, グリーンカット

1. はじめに

コンクリート構造物を施工する場合、ほとんどの部位で打継部が生じることは避けられない。特に上方に高い構造物などは数回～数十回の打継部が生じてしまい、適切な施工や処理を行わないと構造物の弱点となり、耐久性や力学的特性の低下につながる。特に、ダムや水路などの水密性が要求される構造物では、打継部からの漏水¹⁾が問題となる。

そのため、コンクリートの打継処理では、十分な硬度、耐久性及び水密性を有する打継目を造るために、既に打ち込まれた下層コンクリート上部のレイタンスや品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材などを取り除いてから打ち継ぐことが重要である。

既に打ち込まれた下層コンクリートの打継処理方法として、硬化後処理方法がある。この方法はコンクリートの凝結終了後高圧の空気または水でコンクリート表面の薄層を除去し、粗骨材粒を露出させる方法²⁾である。その後、適切な処理を行いコンクリートを打ち込むことで、下層コンクリートと上層コンクリートは一体となり、耐久性や力学的特性を十分有したコンクリート構造物が構築できる。

コンクリートダムなどの施工において、従来工法の打ち継ぎは、粗骨材の表面が現れる程度とし、表面の15mm程度を取り除く方法が行われていた。しかし、近年ではダム施工において打継面をコンクリート運搬用のダンプトラックや、作業機械も随時走り回る状態になっている。その結果、従来工法と同様なレイタンス処理を行うと若材料の打継面の骨材が緩んで表面が傷む現象³⁾が生じやすくなった。そこで、現行の施工においてレイタンス処理を行う際、**図-1**に示すようにカット後の粗骨材の露

出状態が重要な要件となった。

本研究では、力学的特性に注目し下層コンクリートのレイタンス処理後のコンクリートの露出状況によりコンクリート構造物の力学特性にどのような影響を及ぼすか、コンクリートのレイタンス処理量を調整して4つの処理深さを再現し、各実験を行った。

2. 試験体作製

2.1 配合及び形状

下層コンクリートのレイタンス処理状況を模擬する目的で、平面の試験体を作製し表面のレイタンス部の切削を行った。

試験体は通常下層コンクリートのレイタンスを除去し、上層コンクリート打設を行っている、コンクリートダム

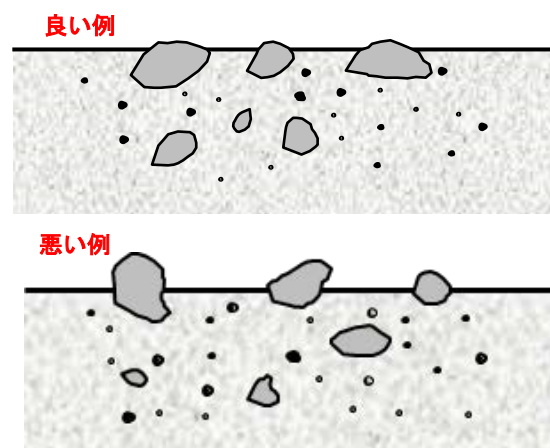


図-1 粗骨材の露出状況概念図

*1 株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任研究員 博士(工学) (正会員)
 *2 株式会社大林組 技術研究所 生産技術研究部 主任 博士(工学)
 *3 株式会社大林組 土木本部 ダム技術部 課長
 *4 株式会社大林組 大阪本店 工事長

表-1 コンクリートダムの外部配合

W/B (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						AE C×%	スランブ (cm)	空気量 (%)
		W	B (C+FA)	S	G					
					G2	G3	G4			
48.6	29.7	120	247	579	482	480	476	0.25	3.0	3.5

表-2 使用材料

材料名	記号	諸元
水	W	水道水
セメント	C	中庸熟セメント, 密度 3.21 g/cm ³
フライアッシュ	FA	密度 2.36 g/cm ³
細骨材	S	密度 2.57 g/cm ³ 密度 2.61 g/cm ³ (混合)
粗骨材	G2	粒形 80~40 mm, 密度 2.72 g/cm ³
〃	G3	粒形 40~20 mm, 密度 2.71 g/cm ³
〃	G4	粒形 20~5 mm, 密度 2.70
混和剤	AE	界面活性剤

を想定して製造した。使用した材料は一般的なダムコンクリートと同一とした。なお、通常ダム用コンクリートの粗骨材の最大寸法は 150mm であるが、型枠を考慮して、80mm とした。ただし、通常ダム施工において、コンクリート打設時、大型バイブレータを用いて十分締固めを行うため、80mm 以上の大型の粗骨材はある程度モルタル内に沈み込み表層に現れない。よって、80mm 以下の粗骨材を用いてもダムコンクリートの打継面を再現できると考えた。配合は材料と同様に一般的なコンクリートダムの外部コンクリートである。配合を表-1、使用材料を表-2 に示す。

試験体形状を図-2 に示す。試験体の厚みはコンクリート打込み時、バイブレータにより粗骨材が充分沈み込むように粗骨材最大寸法の 2 倍である 160mm とした。また、試験体の面積は運搬やコンクリートの練り量を考慮して、1000mm×1000mm とした。コンクリートは強制 2 軸のミキサを用いて 2 回に分けて練混ぜを行い、2 回分を 1 つの容器に投入し人力により練り混ぜた。コンクリートを型枠に打込んだ後、バイブレータを用いて締固めを行い、大型の粗骨材が表面から充分沈み込むまで継続した。打込み状況を写真-1 に示す。締固め終了後、骨材が表面に露出しないように木鏝を用いてタンピングを行い平滑に均した。なお、試験体の作製に先立ち、練り混ぜたコンクリートを 40mm のふるいを用いてウェットスクリーニングを行い、φ150 mm×300 mm の圧縮強度試験体を材齢 7 日、28 日、91 日毎に各 3 体採取した。

2.2 レイタンス処理

レイタンス処理はコンクリートの凝結始発後に行い、最終的な処理時期の判定は触手によってコンクリート面に圧痕が残らない状態とした。通常レイタンス処理は高圧の水や空気を用いて表面の脆弱部を吹き飛ばして行っている。しかし、実際の施工において、高圧水や圧縮空気によるレイタンス処理では汚染水の回収問題や吹き飛ばされたコンクリート片が環境に影響を及ぼすことが課題となっている。そこで、処理したコンクリート片が回収できるワイヤーブラシによる表面除去工法をについて検討した。

ワイヤーブラシによるレイタンス処理は写真-2 に示す要領で人力により実施した。ワイヤーブラシでコンク

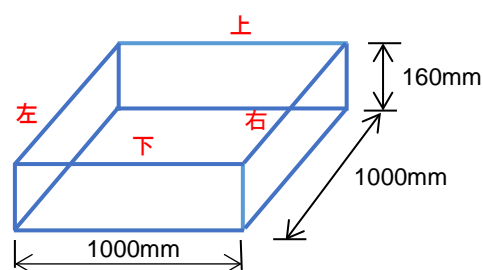


図-2 試験体形状



写真-1 コンクリート打込み状況



写真-2 レイタンス除去状況

リート表面を除去する場合、ブラシの自重のみで、人力にて左右に移動させてレイタンス処理を行った。除去したコンクリート片はバキュームを用いて回収した。

レイタンスの処理量は「コンクリートダムの施工」（以下ダム施工と表記）に準じて、**図-1**に示すように粗骨材の表面が見える程度まで除去を行うこととした。ただし、ダム施工において、粗骨材が見える程度を定量的に評価した記述がないため、コンクリートダム施工に10年以上従事し、監理技術者として発注者と施工状態を検討した技術者2名がレイタンス処理状態を決めた。レイタンス処理を状態に応じて、良い例、悪い例の2種類に分類した。さらに良い例のうち粗骨材の見える程度が最低限の試験体を「ノーマルⅠ」とし、粗骨材が見える程度でかつ粗骨材の浮きがない限度を「ノーマルⅡ」とした。また、悪い例として、粗骨材の露出が著しく少ない試験体を「アンダー」とし、粗骨材がある程度露出していて、かつ粗骨材の浮きが生じている試験体を「オーバー」とした。粗骨材の露出状態の（良い例）および（悪い例）を**写真-3**および**写真-4**に示す。

2.3 凹凸の計測方法

現状では技術者によって判断されていたレイタンス処理状況は熟練技術者によって定性的に判断されていたが、安定的な評価を行うためには、各試験体の粗骨材露出状態を定量的に評価することが必要である。そこで、レイタンス処理を行った良い例、悪い例の各2種類の表面の凹凸をノギスにて測定した。試験体を50mm間隔でマス目を設定し、合計420の座標を設置した。また、計測は**写真-5**に示す要領で、試験体端部の型枠を基準高さとし、**図-2**に示す型枠の左右、上下から高さ50mmの定規を設置し、同位置の各座標からの下がりを入力にて計測した。

試験体表面は人力により目視にて均しており、若干の不陸が発生している。そのため、計測値の平均もしくは標準偏差では、不陸の影響を受けるので、適切な評価が行えない。そこで、今回の評価方法は隣り合う測定値の差を母集団とした標準偏差を評価値とした。これにより、試験体表面にある製作時に発生した不陸の影響を除去できると考えた。評価は**式(1)**を用いて実施した。

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - x_{i+1}) - \bar{x}} \quad (1)$$

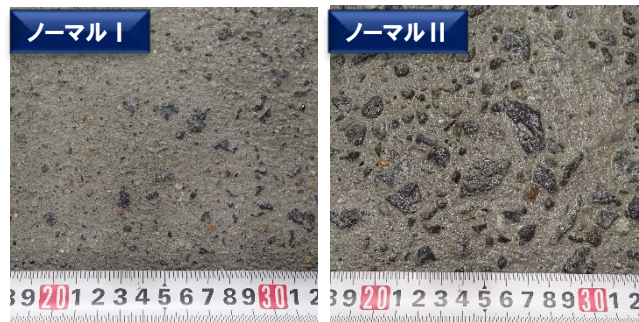


写真-3 粗骨材の露出状態（良い例）



写真-4 粗骨材の露出状態（悪い例）



写真-5 粗骨材の露出計測状況

σ : 標準偏差
 n : データの総数 $n=420$
 x_i : 各データの値
 \bar{x} : データの平均

2.4 試験結果

図-3に粗骨材の凹凸状況分布（良い例）の「ノーマルⅠ」「ノーマルⅡ」を示し、**図-4**に粗骨材の凹凸状況分布（悪い例）の「アンダー」「オーバー」を示す。良い例はノーマルⅡの一部に4から5mm程度の凹凸があるものの、ノーマルⅠ、ノーマルⅡ両方とも全体的に凹凸が0から3mm程度であることが確認できた。それに対して、悪い例はアンダーで0mmから1mm程度でほぼ凹

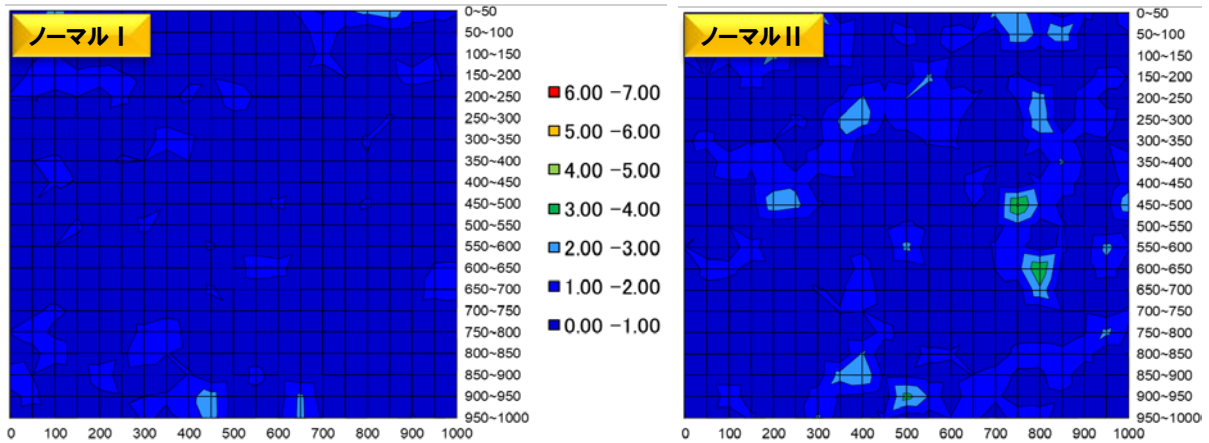


図-3 粗骨材の凹凸分布（良い例）

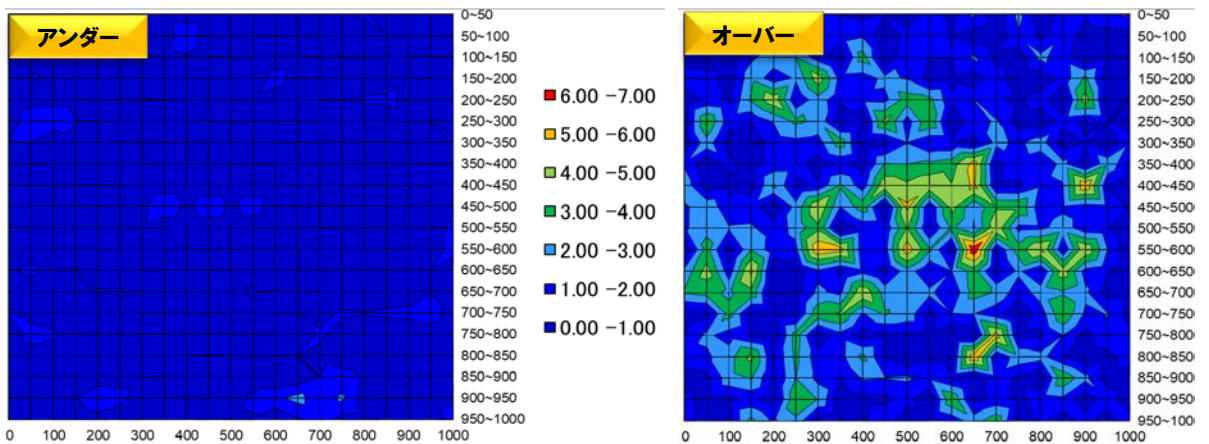


図-4 粗骨材凹凸分布（悪い例）

凸がないことが確認できた。オーバーにおいては、凹凸の差4mm以上が全体的に分布しており、5mmから7mmの凹凸の差も確認できた。これにより、熟練技術者により定性的に評価されたレイタンス処理後の状態は、2mmから4mm程度の骨材の凹凸であることを定量的に評価できた。

図-5に粗骨材の隣り合う凹凸分布の標準偏差を示す。アンダー、ノーマル I、ノーマル II、オーバーの分布の標準偏差はそれぞれ0.4mm、0.48mm、0.68mm、1.35mmであった。ノーマル I、ノーマル IIは熟練技術者が良好なレイタンス処理であると判断し試験体を製作していることから、隣り合う凹凸分布の標準偏差は0.48mmから0.68mm程度であることが適切であると評価できる。施工現場において処理状態を計測して標準偏差を算出することで、熟練技術者が不在でも評価が可能となった。

これら熟練技術者が良好と判断したレイタンス処理量が適切な状態であるかを評価する必要がある。そこで、打継面で重要であると考える一体性を確認する目的で、力学的特性を検証することにした。力学的特性として、一面せん断試験を実施し評価を行うこととした。

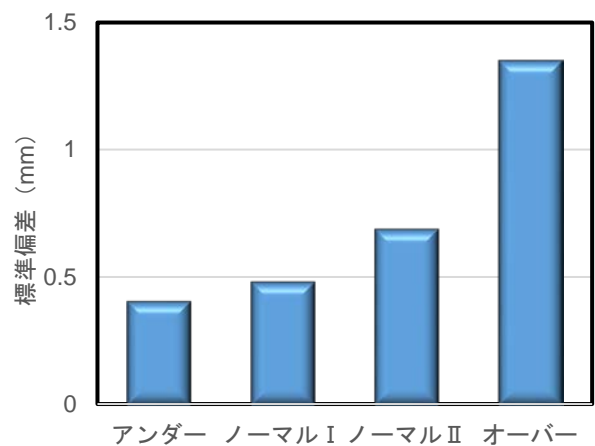


図-5 粗骨材の凹凸の分布

3. 一面せん断試験

3.1 試験体作製

試験体は直径200mm、高さ200mmの円柱である。高さ100mmの位置に打継目を設けレイタンス処理を行った。先打ち部を高さ100mmで作製し、打継目になる面のレイタンス処理を1000mm×1000mm×160mmの試験

体と同様にワイヤーブラシを用いて行った。骨材の露出状態は写真-3 写真-4 の状態を目視で確認しながら行い、良い例として「ノーマルⅠ」「ノーマルⅡ」、悪い例として「アンダー」「オーバー」の4種類とした。一面せん断試験は1ケース当たり3つの傾斜角度で実施するため、1傾斜角度あたり3体使用し、1ケース当たり合計9体の試験体を製作した。一面せん断試験体の製作状況および試験状況を写真-6および写真-7に示す。

3.2 試験方法

一面せん断試験は図-6 に示す試験装置に製作した試験体を 3000N アムスラーに設置し、最大荷重 P と試験体の傾斜角 α の3角度 (25°, 30°, 35°) から式(2), (3)より垂直応力 σ とせん断応力 τ を求めた^{4) 5)}。

$$\sigma = (P/A) \sin \alpha \quad (2)$$

$$\tau = (P/A) \cos \alpha \quad (3)$$

σ : 垂直応力(N/mm²)

τ : せん断応力(N/mm²)

P : 最大荷重(N)

A : せん断面積(mm²)

α : せん断破壊面の傾斜角(°)

次に垂直応力 σ とせん断応力 τ の関係から Mohr-Coulomb のせん断破壊基準線を仮定し、式(4)から純せん断強度 τ_0 と摩擦係数 μ を求めた。

$$\tau = \tau_0 + \mu \sigma \quad (4)$$

τ_0 : 純せん断強度(N/mm²)

μ : 摩擦係数

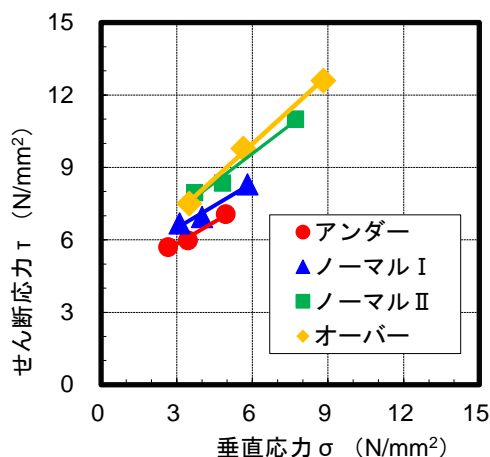


図-7 垂直せん断応力とせん断応力の関係



写真-6 一面せん断試験体製作状況



写真-7 簡易一面せん断試験状況

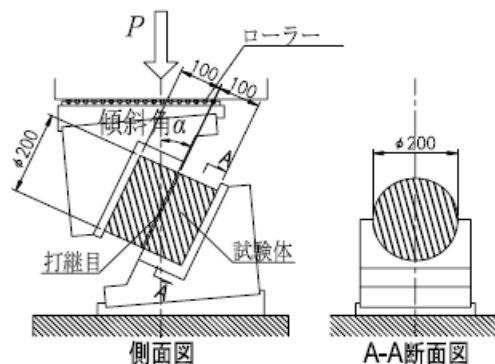


図-6 簡易一面せん断簡易試験装置

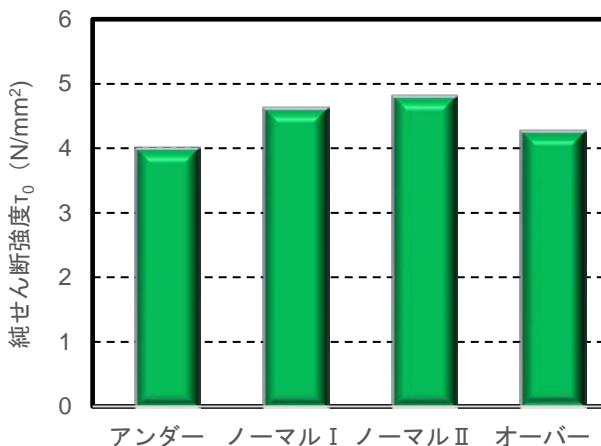


図-8 純せん断強度

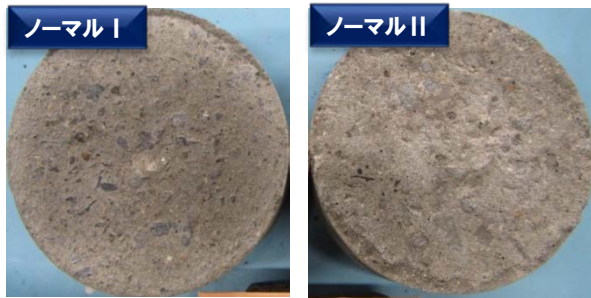


写真-8 一面せん断試験後の断面（良い例）

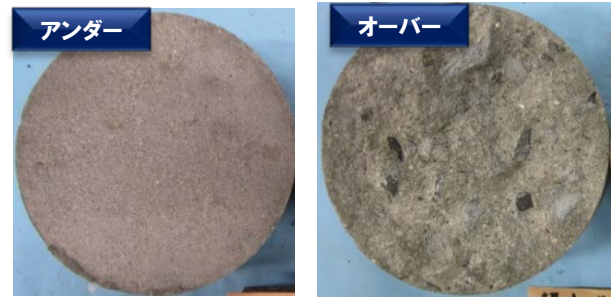


写真-9 一面せん断試験後の断面（悪い例）

3.3 試験結果

各ケースの垂直応力 σ とせん断応力 τ の関係を図-7に示す。近似線は最小二乗法により線形近似して算出した。

図-3, 図-4と図-7を比較すると粗骨材の凹凸分布が増加することによりせん断応力は大きくなる傾向にあることが確認できる。また, 図-8に純せん断強度を示す。アンダーからノーマルⅠ, ノーマルⅡの順に粗骨材の凹凸が増加すると, 純せん断強度は大きくなることが確認できる。しかし, ノーマルⅡからオーバーにおいて粗骨材凹凸が増加したにもかかわらず純せん断強度が低下することが確認できた。図-7のせん断応力と垂直応力の関係からオーバーは他のケースと比較して, せん断応力が増加しているものの, 傾きが大きくなっている。傾斜角度が大きくなることは切片が小さくなり, 垂直応力値が「0」の時の純せん断強度が相対的に小さくなることを示している。

一面せん断試験後の断面の良い例, 悪い例を写真-8, 写真-9に示す。アンダーではせん断面に粗骨材が全く確認できない。また, ノーマルⅠ, ノーマルⅡの断面には全体的に最大3mm程度の粗骨材が満遍なく存在していることが確認できる。しかし, オーバーの断面は粗骨材が全体的に確認できるものの, 5mm以上の粗骨材が多く存在し, 凹凸が他のケースと比較して著しく増加していることが確認できる。原因として, レイタンス処理が所定量以上に行われたため, 付着面の粗骨材が緩み抜けて取れたと考えられる。

これらの結果より熟練技術者が良好と判断したレイタンス処理状態は力学的特性が良好であることが確認できた。今後はレイタンスの処理状態の良否判断は粗骨材の凹凸を定量的に評価することで, 熟練技術者がいなくても適切に行えると考えられる。

4.まとめ

今回の試験結果から次のことが分かった。

- ① 熟練技術者により定性的に評価されたレイタンス処理後の状態は, 2mm から4mm程度の骨材露出の凹凸が適切であることが確認できた。
- ② 熟練技術者が良好なレイタンス処理であると判断した隣り合う凹凸分布の標準偏差は, 0.48mm から0.68mm程度であった。
- ③ 粗骨材の凹凸が増加するにつれて, 純せん断強度は大きくなる。しかし, ノーマルⅡからオーバーにおいて粗骨材の凹凸が増加したにもかかわらず純せん断強度が低下した。
- ④ 良い例の断面には全体的に最大3mm程度の粗骨材が満遍なく存在していることが確認できる。オーバーの断面は5mm以上の粗骨材が多く存在し, 凹凸が他のケースと比較して著しく増加していることが分かった。
- ⑤ レイタンス処理が所定量以上に行われた場合, 付着面の粗骨材が緩み抜けとれたため, せん断力が低下したと考えられる。
- ⑥ レイタンスの処理状態の良否判断は粗骨材の凹凸を定量的に評価することで, 熟練技術者がいなくても適切に行えると考えられる。

参考文献

- 1) 斯波明宏, 樋口正典, 佐々木亘: コンクリート水平打継部の耐久性向上に関する検討, 三井住友建設技術開発センター報告 第9号, pp59-64, 2011
- 2) 清宮理: コンクリート構造物の施工時初期欠陥の対策技術の開発, 平成22年度(財)港湾航空建設技術サービスセンター研究開発助成報告書, 2011.1
- 3) 日本ダム協会: コンクリートダムの施工, 2015.3
- 4) 瀬古育二, 山口温朗, 自閑茂治: RCD コンクリートのせん断強度に関する検討, ダム技術, No.26 増刊, pp56-65, 1988
- 5) 佐々木一成, 野村敏夫, 武田篤史, 吉田浩一郎: 常温硬化型超高強度繊維補強コンクリートの打継目せん断性能に関する実験的検討, コンクリート工学会年次論文集, vol.34, No.2, pp1297-1302, 2012.7