

写真計測による打継強度評価システムの開発

近藤 真一*1・中村 収志*2・玉置 一清*3・佐田 達典*4

In this paper, we describe the intelligent evaluation system for shear strength of the construction joint using the stereophotogrammetric system. Our system can be applied to the evaluation of shear strength of the construction joint based on the surface roughness spectrum of the concrete construction joint. The surface roughness of concrete construction joint is measured by using the stereophotogrammetric system with digital cameras originally developed in our laboratory. We investigated the relationship between the surface roughness parameter of construction joint and the shear strength. Experimental results showed that our system can provide enough accuracy for evaluation of construction joint shear strength.

キーワード：Construction Joint, Stereophotogrammetric System, Surface Roughness Spectrum, Construction Joint Treatment, Retarder, Shear Strength

1. 緒 言

プレストレストコンクリート橋などの施工においては一般にコンクリートに打継目が設けられる。打継目の性能、すなわち強度、水密性、耐久性などは、その施工法・処理方法に大きく影響を受ける。

打継目の処理方法としては、コンクリートの打込み後に行うチップングや、コンクリート打込み前に凝結遅延剤を塗付し、打込み後に未硬化部分を高压水により洗い出す方法などにより、打継面を粗にすることが行われている。しかしながら、いずれの方法に対しても、打継面の粗さについては、コンクリート標準示方書や道路橋示方書などの技術基準では定量的に規定されておらず、施工管理を行ううえでの課題となっていた。

そこで筆者らは、現場における実構造物の打継目の施工管理に適用し、一定水準の打継性能を確保するための手法として、デジタルカメラを用いて打継面を写真計測して打継面の凹凸形状（粗さ）を定量化し、FFT（Fast Fourier Transform）解析で求めたスペクトル曲線を基に打継目のせん断強度を評価するシステムを開発した。

本論文は、このシステムの概要とシステムの妥当性を確認するために実施したせん断試験の結果について述べるものである。

なお、打継目の強度は、打継面の粗さに加えて、打継面のチップング処理では緩んだ骨材粒の残置などに、凝結遅延剤を用いた洗い出し処理では遅延速度・深度などに影響を受けるため、本システムは打継面の粗さ以外の条件がおおむね一定の場合に適用することを前提としている。

2. 打継面粗さと強度に関する既往の研究と課題

打継面の粗さを基に打継目のせん断強度や引張強度を評価しようとした研究については、これまでにさまざまな論文が発表されている。

打継面をレーザー式変位計で測定し、JIS B 0601に規定されている表面粗さの指標などを用いてせん断強度などを評価した研究¹⁾では、十点平均粗さなどの指標に比例してせん断強度が増加すること、打継面の粗さを評価する各手法における評価値の相関から、打継面凹凸の山と谷の深さを基にした十点平均粗さ、二乗平均粗さ、中心線平均粗さなどが、ほぼ同一の手法とみなせることなどが明らかにされている。

打継面の粗さとせん断強度などの関係について、細砂を用いて平均きめ深さを求める方法とレーザー式変位計で測定する方法により評価した研究²⁾では、打継面の強度と粗さは相関が高く一次式で表わせることが示されるとともに、レーザー変位測定では測定面設定の際に生じる傾きを差し引いて除去する必要のあることなどが指摘されている。

また、打継面をシリコンゴムで型取りし石膏で復元して触針式三次元形状計測機を用いて計測し、表面処理粗さをスペクトルとフラクタル次元により定量化することにより、付着性状との関係について検討した研究³⁾では、凹凸面の粗さをパワースペクトルで評価することで凹凸面を構成する波長を相対的に判断できること、粗さはフラクタル次元で評価できることなどが報告されている。

既往の研究で用いられた表面粗さの指標について、以下

*1 Shinichi KONDOH：三井住友建設(株) 技術研究開発本部 技術企画部

*2 Atsushi NAKAMURA：三井住友建設(株) 土木本部 土木技術部

*3 Kazukiyo TAMAKI：三井住友建設(株) 東京土木支店

*4 Tatsunori SADA：日本大学 理工学部 社会交通工学科 教授

に概要を示す。

十点平均粗さ (R_z) は、粗さ曲線の山頂の標高をもっとも高いものから順に Y_{p1} 、谷底の標高をもっとも低いものから順に Y_{v1} としたとき、式(1)で示される (図 - 1)。

$$R_z = \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^5 |Y_{pi}| + \sum_{i=1}^5 |Y_{vi}| \right) \quad (1)$$

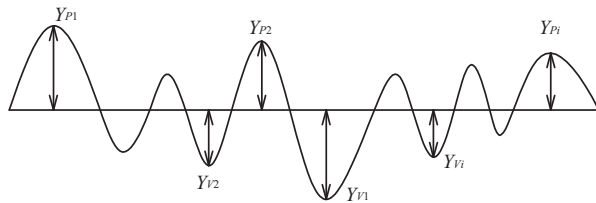


図 - 1 十点平均粗さ

二乗平均粗さ (H_{rms}) は、中心線から粗さ曲線までの高さを $f(x)$ としたとき、式(2)で示される (図 - 2)。ここで、 L は測定長さである。

$$H_{rms} = \frac{1}{L} \sqrt{\int_0^L (f(x))^2 dx} \quad (2)$$

中心線平均粗さ (H_{ave}) は、中心線から粗さ曲線までの高さを $f(x)$ としたとき、式(3)で示される (図 - 2)。ここで、 L は測定長さである。

$$H_{ave} = \frac{1}{L} \int_0^L |f(x)| dx \quad (3)$$

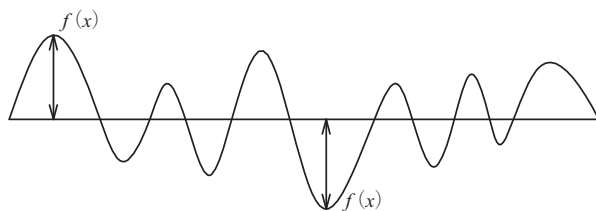


図 - 2 粗さ曲線

このように打継面の粗さを基にした打継目のせん断強度・引張強度評価に関する研究が行われてきたが、現場施工の実構造物において打継目処理を行う際に適用できる施工管理手法を確立するためには、これら既往の技術は、打継面凹凸形状の計測に用いるレーザー式変位計などの器材が大型であることに加えて、計測結果の評価にも時間を要することなどが大きな課題であった。すなわち、小型で軽量の器材や計測結果を直ちに施工管理にフィードバックできるシステムの開発、および打継面が大きく湾曲している場合や座標計測の基準面が傾いた場合でも自動的に補正されるシステムの実用化が必要不可欠であった。

3. 写真計測による打継強度評価システムの概要

3.1 写真計測による打継強度評価システムの構成

本システムは、現場での施工管理に適用できるようにシステム化されており、コンクリートの打継面をデジタルカメラで撮影した画像から打継面凹凸形状 (粗さ曲線) デー

タを得る“打継面写真計測システム”と、この形状データから求めた打継面粗さスペクトルに基づいて打継面のせん断強度を評価する“スペクトル方式打継強度評価システム”から構成されている。図 - 3 に打継面のデジタル画像の一例を示す。

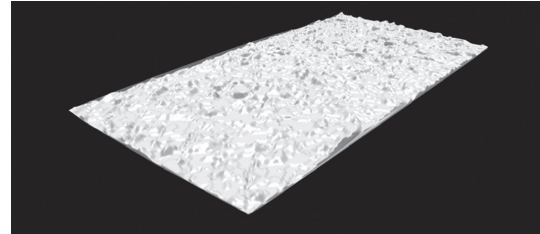


図 - 3 打継面のデジタル画像

3.2 打継面写真計測システム

打継面写真計測システムは、現場における実構造物の打継面をデジタルカメラを用いてステレオ撮影し、写真計測技術を応用して、打継面凹凸形状の3次元座標データの解析を行うシステムである (図 - 4)。

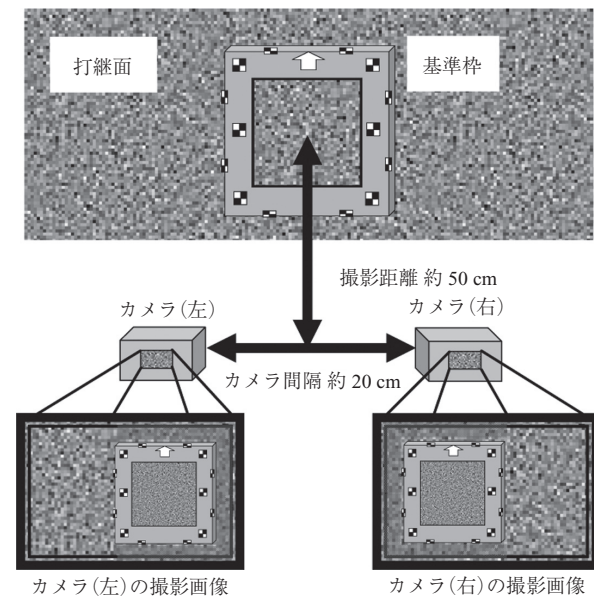


図 - 4 打継面写真計測システムの概念

打継面を基準枠 (定規) とともに2箇所位置から撮影するシステム、2つの画像データからマッチングポイント (対応する同一点) を探求するシステム、凹凸形状の座標を演算するシステム、座標を正方化したメッシュデータに変換するシステムなどから構成されている。

基本的な計測原理は、2台のデジタルカメラの画像上の x, y 座標 (P_x, P_y) から、式(4)、(5)、(6)により計測面の X, Y, Z 座標 (P_x, P_y, P_z) を得るものである (図 - 5)。

$$P_x = -Z \cdot \frac{P_{1x}}{c} \quad (4)$$

$$P_y = -Z \cdot \frac{P_{1y}}{c} = -Z \cdot \frac{P_{2y}}{c} \quad (5)$$

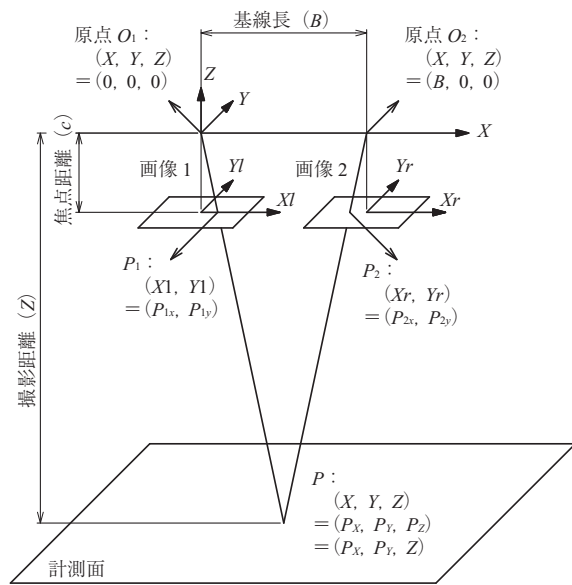


図 - 5 打継面写真計測の原理

$$P_z = Z = -\frac{c \cdot B}{P_{1x} - P_{2x}} \quad (6)$$

また、計測精度は同様の原理で、デジタルカメラの画素数と撮影対象範囲との関係から決定され、300 × 300 mmの基準枠をデジタルカメラのフレーム一杯に撮影した場合が適用限界である。このときの計測精度は1000万画素のカメラでは0.11 mm、800万画素では0.12 mmとなる。

打継面における計測点の座標は、鉛直方向、水平方向ともに1 mm 間隔で得ることとしている。次に、計測点のデータからラインデータを抽出する。鉛直方向の1ラインには1 mm 間隔のデータ、水平方向には5 ~ 10 mm 間隔でのラインを基本として抽出し(図 - 6)、1ラインごとに打継面の凹凸形状(粗さ曲線)を得る(図 - 7)。

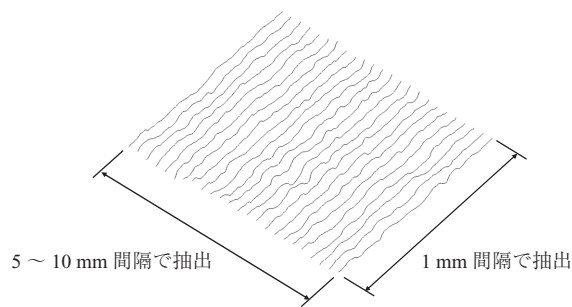


図 - 6 ラインデータの抽出

ここでの課題は、型枠設置精度の影響で打継面が大きく湾曲している場合や座標計測の基準面が傾いている場合などにおいて、計測された凹凸形状の深さ d が山と谷の実質の深さより大きく評価されてしまう要因となる。波長の長いうねり成分の取扱いである(図 - 8)。

3.3 スペクトル方式打継強度評価システム

スペクトル方式打継強度評価システムは、現場において打継面写真計測システムを用いて得た、実構造物の打継面

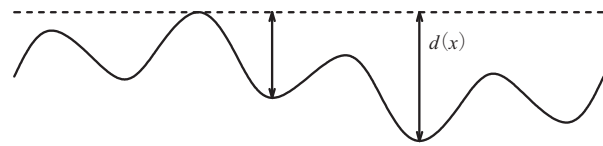


図 - 7 抽出ライン上の打継面凹凸形状

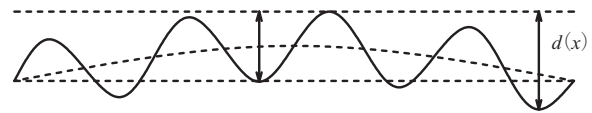


図 - 8 打継面が湾曲している場合の凹凸形状

凹凸形状(粗さ曲線)を時系列データとみなし、これから得られた打継面粗さスペクトルをスペクトル曲線として表し、任意に設定した周波数の範囲(周波数帯)におけるスペクトル曲線下の面積(パワー)に基づいて打継目のせん断強度を評価するシステムである。

すなわち、まず打継面凹凸形状(粗さ曲線)のFFT解析を行って得られた打継面粗さパワースペクトル密度を、横軸に周波数(ω)、縦軸にスペクトル(S)をとって表す。次に、別途実施した試験により強度との関係が明らかになっている凹凸形状の周波数帯 $\omega_a \sim \omega_b$ を設定する。続いて、スペクトル曲線と周波数帯 $\omega_a \sim \omega_b$ に囲まれた面積 A を式(7)により算出し(図 - 9)、式(8)により打継面粗さ特性値 R_{sp} を算出する。

$$A = \int_{\omega_a}^{\omega_b} S(\omega) d\omega \quad (7)$$

$$R_{sp} = \sqrt{A} \quad (8)$$

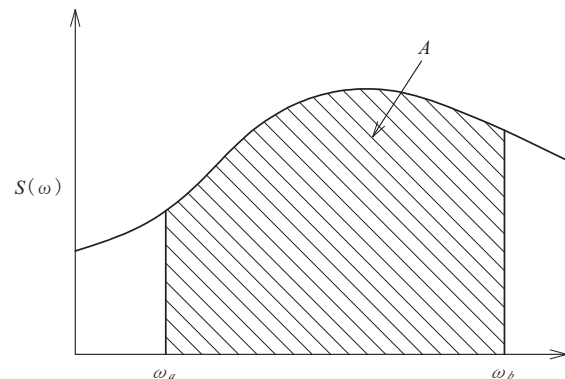


図 - 9 スペクトル曲線に囲まれた面積

そして、別途実施の試験によって得ておく打継面粗さ特性値 R_{sp} とせん断強度の関係に基づいて、打継目のせん断強度を評価する。

なお、スペクトル曲線と周波数帯 $\omega_a \sim \omega_b$ に囲まれた面積 A は、振幅(打継面の凹凸深さ)の二乗平均を表していることから⁴⁾、面積 A の平方根をとって打継面粗さ特性値 R_{sp} とすることで、既往の研究で用いられた表面粗さの指標と同次元のmmになる。

また、スペクトル方式打継強度評価システムの特徴は、

表 - 1 コンクリートの配合

配合	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	配合表 (kg/m ³)				
			セメント	水	細骨材	粗骨材	混和剤
40-12-20H	37.3	36	480	179	612	1 061	4.80

表 - 2 試験体における打継面の処理方法

Case	打継面の処理方法	処理程度	試験体数
1	凝結遅延シート	A	3
2		B	3
3		C	3
4	凝結遅延剤	A	3
5		B	3
6		C	3
7	チップング	D	3
8		E	3

スペクトル曲線下の面積 A を算出する際に周波数帯 $\omega_a \sim \omega_b$ を設定することにより、打継面の粗さ曲線に含まれる ω_a より小さい周波数帯のうねり成分を除去することができることである。ここで、打継面粗さ特性値とせん断強度の相関性は、選択する周波数帯をつねに同一に設定することにより、一定水準に保つことができる。

4. システムの妥当性に関する試験

4.1 試験の概要

本システムは、プレストレストコンクリートに適用することを想定し、打継目の強度としてはせん断強度を取り上げることにした。また、せん断試験法には、直接一面せん断試験法や打継面に圧縮応力とせん断応力を作用させる一軸圧縮試験法などがあるが、ここでの試験は打継面の粗さとせん断強度の相対的な関係を得ることを目的とすることから、特殊な装置が不要で簡便な二面せん断試験法を採用した。

この試験では、まず旧コンクリートの試験体を製作し、打継面の処理を行ってから、打継面の写真計測を行う。ここで、打継面凹凸形状のFFT解析を行い、打継面粗さ特性値を算出する。次に、新コンクリートを打ち込み、試験体を完成させてから、二面せん断試験を行う。最後に、打継面粗さ特性値とせん断強度の関係を得る。

4.2 試験体

(1) 試験体の製作

試験体の形状を図 - 10 に示す。試験体は、プレストレストコンクリート橋の床版を想定し、打継面の幅を 300 mm、鉛直方向を 250 mm とした。

図 - 10 において“旧”と表記している部分のコンクリートを先行して打ち込み、打継面を処理した後、旧コンクリート打込みの1週間後に“新”と表記している部分のコンクリートを打ち込んだ。

コンクリートは、設計基準強度 40 N/mm² の早強コンクリートで、粗骨材の最大寸法は 20 mm である。新旧コンクリートとも同一配合である(表 - 1)。なお、参考のために打継目を設けない一体施工の試験体も製作した。

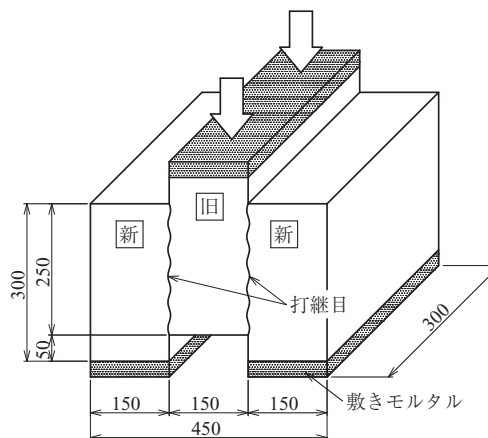


図 - 10 試験体の形状

(2) 打継面の処理

打継面の処理は、凝結遅延シート貼付および凝結遅延剤塗付のうえで高圧水で洗い出す方法を主とし、比較のためにチップング処理のケースも設けた。凝結遅延シートは不飽和ポリエステル樹脂系のもの⁵⁾、凝結遅延剤はアリフェイトハイドロカーボンの混合物である。

打継処理の程度を変化させる方法としては、遅延剤濃度の変化、遅延剤散布開始や洗い出し開始時間の変化、高圧水の吐出圧力・流量や距離の変化などが考えられるが、本試験では以下のように行った。

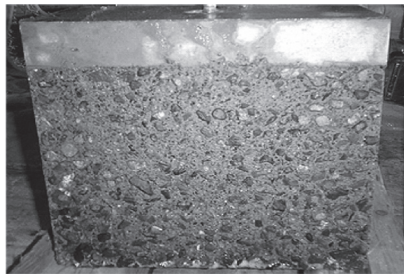
凝結遅延シート貼付および凝結遅延剤塗付のグループでは、旧コンクリート打込みの前日に貼付・塗付を行い、コンクリート打込みの翌日に高圧水で洗い出す標準的なタイプ (Type A)、遅延シート貼付・遅延剤塗付を旧コンクリート打込みの2週間前に行うタイプ (Type B)、旧コンクリート打込みの前日に遅延シート貼付・遅延剤塗付を行い、コンクリート打込みの翌日に脱型し、材齢4日経過後に高圧水処理を行うタイプ (Type C) を設定した。

チップング処理のグループでは、無処理の打継面がなくなるまで入念に作業したタイプ (Type D) および無処理を残す程度のタイプ (Type E) とを製作した。チップングは、旧コンクリート打込みの翌日に行った。

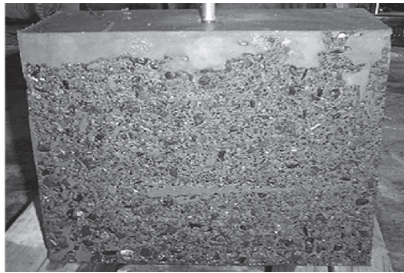
本試験で実施した試験体における処理方法をまとめて表 - 2 に示す。また、打継面処理状況の一例を、写真 - 1 に示す。

4.3 打継面凹凸形状の写真計測

旧コンクリートの打継処理を行ってから、打継面の凹凸形状を打継面写真計測システムを用いて計測した(写真 - 2)。計測点は、鉛直方向(せん断試験における荷重方向)、水平方向ともに 1 mm 間隔とし、1 ケースあたり約 4 万点のデータを得た。計測データは、後述するFFT解析で2のべき乗個のデータを取り扱うことになるため、鉛直



(a) 凝結遅延シートで処理した打継面



(b) 凝結遅延剤で処理した打継面



(c) チッピング処理した打継面

写真 - 1 打継面の処理状況

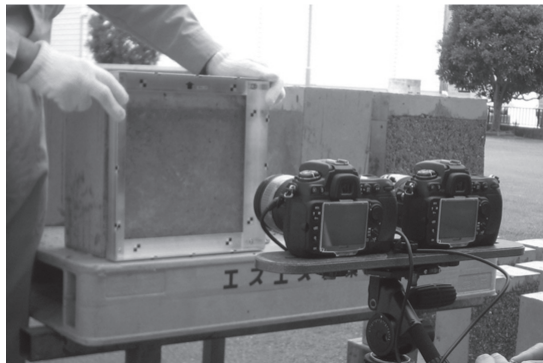


写真 - 2 打継面の写真計測状況

方向の1ラインには1mm間隔のデータ、水平方向には7mm間隔でのラインを基本として計4096点を抽出した(図-11)。1ラインごとに、凹凸形状の最高点を通る水平線を座標軸に設定し、統一した凹凸深さデータに変換した。

図-12に、チッピング処理を行ったCase7~8における打継面中央付近のラインから長さ10cm区間を抽出した打継面形状(粗さ曲線)を示す。図-14, 15に、凝結遅延シート貼付・凝結遅延剤塗付のうえで洗い出し処理を行

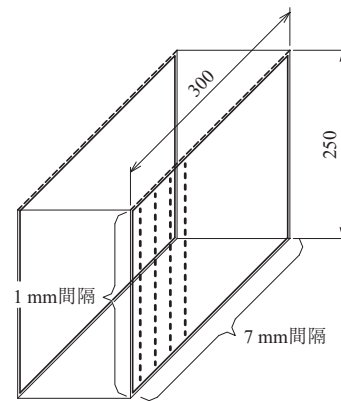


図 - 11 座標データの抽出方法

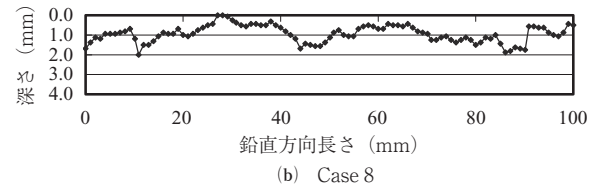
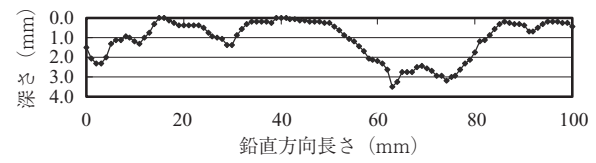


図 - 12 チッピング処理した打継面の形状

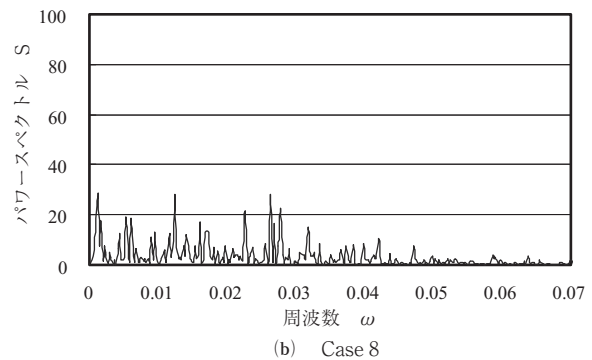
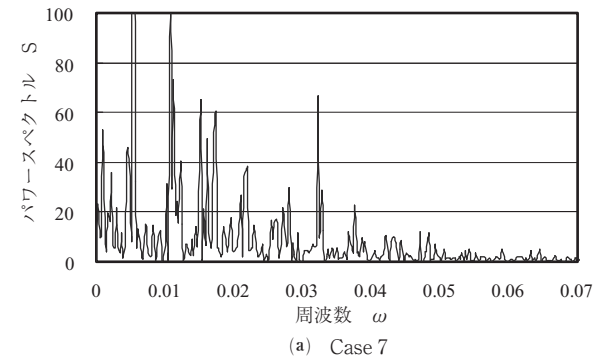


図 - 13 チッピング処理した打継面のスペクトル

ったCase1~6における打継面形状を示す。

チッピング処理グループの凹凸深さ(図-12)は、入

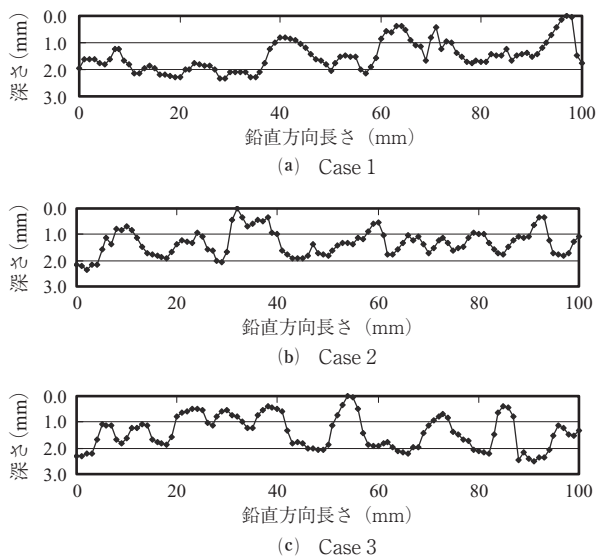


図 - 14 凝結遅延シートで処理した打継面の形状

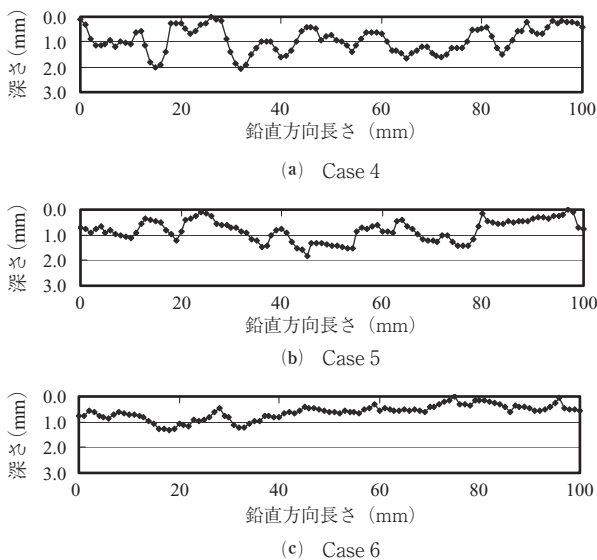


図 - 15 凝結遅延剤で処理した打継面の形状

念に作業した Case 7 では深さ 3 mm を超える大きな谷がある一方で深さ 0 mm 程度の平坦な部分も残っているなど大きなばらつきが見られるが、無処理を残す程度とした Case 8 では深さの浅い小刻みな凹凸形状となっている。

次に、凝結遅延シート貼付グループの凹凸深さ（図 - 14）は、打継処理程度の相違にほとんど影響を受けていないことが分かる。これに対して、凝結遅延剤塗付グループの凹凸深さ（図 - 15）は、標準的な打継処理の Case 4 に比べて、遅延剤塗付をコンクリート打込みの 2 週間前に行った Case 5 の方が小さく、洗い出し処理を 4 日後に行った Case 6 の方がさらに小さくなっていることが判別できる。

4.4 打継面粗さスペクトルと粗さ特性値

抽出した 4 096 点の打継面凹凸深さを時系列データとみ

なし、打継面形状を示す粗さ曲線の横軸の単位 mm を秒に読み替えて FFT 解析を行った。

図 - 13 に、チッピング処理を行った Case 7 ~ 8 の打継面粗さ（凹凸形状）のスペクトル曲線を示す。図 - 16, 17 に、凝結遅延シート貼付・凝結遅延剤塗付で洗い出し処理を行った Case 1 ~ 6 における打継面粗さスペクトル曲線を示す。

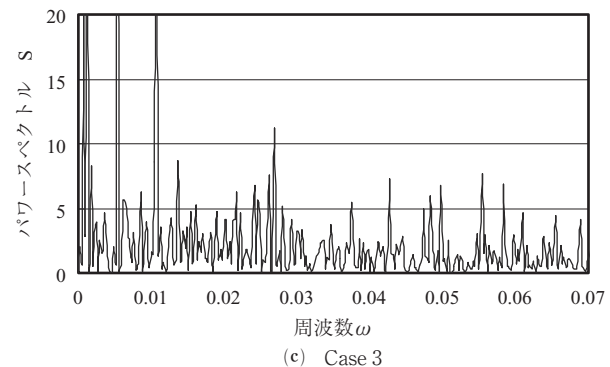
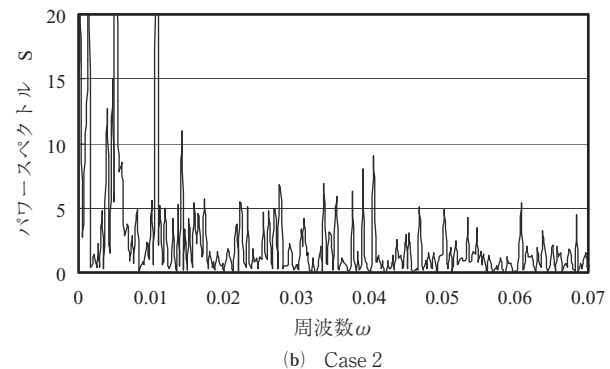
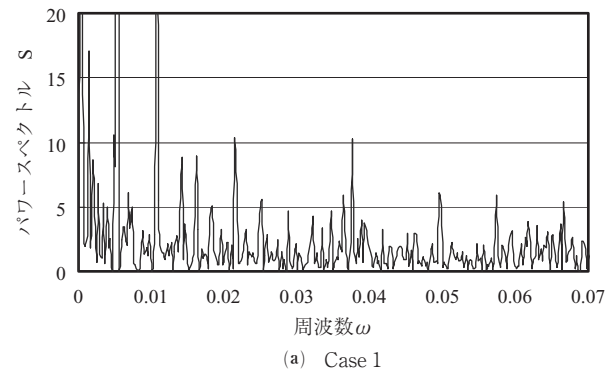


図 - 16 凝結遅延シートで処理した打継面のスペクトル

チッピング処理グループの粗さスペクトル値 (S) は、凹凸深さの傾向と同様に、Case 7 では大きな値を示す周波数 (ω) が数箇所存在しているが、Case 8 では平均して小さな値となっている（図 - 13）。凝結遅延シート貼付のグループの粗さスペクトル（図 - 16）は、凹凸深さの傾向と同様に、打継処理程度の相違にそれほど影響を受けていないことが分かる。

これに対して、凝結遅延剤塗付グループの粗さスペクトル（図 - 17）は、標準的な打継処理の Case 4 に比べて、遅延剤塗付をコンクリート打込みの 2 週間前に行った

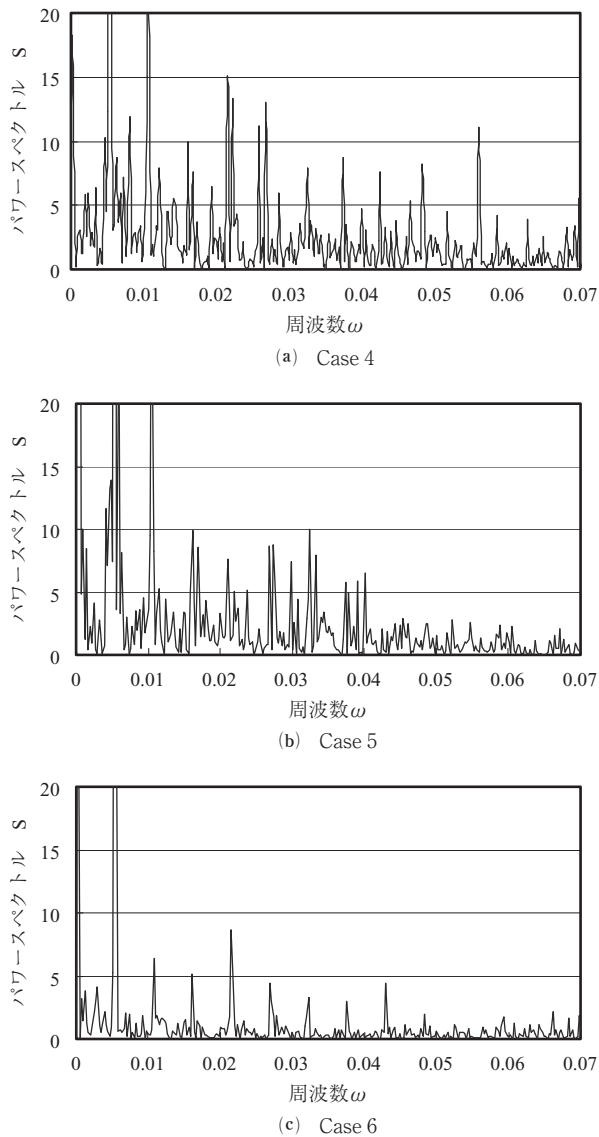


図 - 17 凝結遅延剤で処理した打継面のスペクトル

Case 5の方が小さく、洗い出し処理を4日後に行ったCase 6の方がさらに小さくなっていることが分かる。

なお、FFT解析は無限長時系列を前提としていることから、約190データから成る1ライン長(190mm)を基本周期としてみなすため、波長190mm相当の周波数 $\omega = 0.005$ が不連続点となって、いずれのケースにおいても周波数 $\omega = 0.005, 0.01$ 付近にスペクトル値の誤差として大きなピークが生じている。

粗さスペクトル曲線下における面積 A の平方根である打継面粗さ特性値(R_{sp})の算出にあたっては、打継面凹凸形状の周波数帯を $\omega = 0.02 \sim 0.05$ すなわち波長20～50mmに設定した。この周波数帯の設定には、打継面写真計測システムの計測精度、計測点間隔と同時に、予備試験の結果を判断基準として考慮に入れた。

本試験では1000万画素のデジタルカメラを用いており写真計測精度が0.11mmとなるため、まず計測点間隔を計測精度の10倍程度にすることとして1mmとし、次に計測点間隔の10倍すなわち10mm以上の寸法の骨材およ

び凹凸形状を打継面粗さ特性値(R_{sp})に評価できるように考えた。寸法10mmの骨材が高圧水で洗い出された状態は、波長20mm、周波数 $\omega = 0.05$ に相当し(図-18)、これを周波数帯の上限値に設定した。周波数帯の下限値 $\omega = 0.02$ は、実施工におけるせき板の湾曲の影響によるうねり成分や、FFT解析で基本周期が190mmとみなされることにより $\omega = 0.005, 0.01$ 付近に生じる比較的大きな誤差を除去でき、逆に粗骨材最大寸法20mmに相当する周波数 $\omega = 0.025$ は評価に取り込める値として設定した(図-18)。

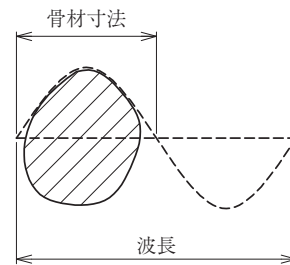


図 - 18 骨材寸法と波長の関係

また、この周波数帯の設定では、予備試験で得られた打継面粗さ特性値とせん断強度の関係で $\omega = 0.02 \sim 0.05$ の帯域がもっとも強い相関性が得られたことも同時に考慮した。なお、FFT解析にあたり窓関数による処理は行っていない。

本試験における写真計測精度0.11mmは、このような打継面粗さ特性値を算出する周波数帯の設定により、寸法10mm以上の骨材などを評価対象としたことから、十分であったと考えられる。

4.5 二面せん断試験

新コンクリート打込みの7日後に二面せん断試験を行った。試験時のコンクリート圧縮強度は、旧コンクリート(材齢14日)が56.3 N/mm²、新コンクリート(材齢7日)が46.8 N/mm²であった。試験時におけるコンクリートの諸元を表-3に示す。また、二面せん断試験結果を表-4に示す。

表 - 3 試験時におけるコンクリート諸元

	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
旧コンクリート σ_{14}	56.3	34.3
新コンクリート σ_7	46.8	32.1

試験体 Case 3 ①, ②, Case 4 ① および Case 7 ① は、打継面が片面ずつ破壊するなど破壊性状が不安定であり、両面同時破壊の試験体に比べて低いせん断強度に留まっていることから、検討から除外することとした。また、これらは表-4に示すせん断強度の平均値にも考慮していない。

凝結遅延シートを貼付の上で洗い出し処理を行ったグループのせん断強度は、凹凸深さの傾向などと同様に、打継処理程度を変化させた Case 1～3でも処理程度の相違に

表 - 4 二面せん断試験結果

Case	(N/mm ²)			平均
	①	②	③	
1	5.68	5.01	5.33	5.34
2	5.69	5.93	5.88	5.83
3	(4.25)	(3.62)	5.92	5.92
4	(3.12)	5.67	5.64	5.66
5	4.82	5.41	5.18	5.14
6	3.77	3.37	4.31	3.82
7	(5.24)	5.79	5.51	5.65
8	4.03	5.05	3.64	4.24
一体	11.74	12.05	11.59	11.79

() 表記は片面ずつ破壊したケース

大きな影響を受けず 5.01 ~ 5.93 N/mm² とばらつきが小さく安定しており、チップング処理を入念に行った打継目のせん断強度 5.51 ~ 5.79 N/mm² と同等の強度を有している結果が得られた。これに対して、凝結遅延剤を塗付のうえで洗い出し処理を行ったグループのせん断強度は、標準的な打継処理の Case 4 に比べて、遅延剤塗付をコンクリート打込みの 2 週間前に行った Case 5 の方が小さく、洗い出し処理を 4 日後に行った Case 6 の方がさらに小さくなった。チップング処理を行ったグループのせん断強度は、入念に作業した Case 7 では大きな値を示したが、無処理を残す程度とした Case 8 では 3.64 ~ 5.05 N/mm² と比較的ばらつきが大きかった。

4.6 打継面粗さ特性値とせん断強度の関係

図 - 19 に、凝結遅延シート貼付・凝結遅延剤塗付のうえで高圧水洗い出し処理を行ったグループにチップング処理のグループを加えて、打継面粗さ特性値とせん断強度の関係を示す。高圧水洗い出し処理のグループとチップング処理のグループでは、データの分布が明らかに相違しており、チップング処理のグループではデータのばらつきが大きくなった。これには、チップング処理に特有な打継面表層付近の微細なひび割れの誘発や、緩んだ骨材粒の残置などの要因が考えられる⁶⁾。

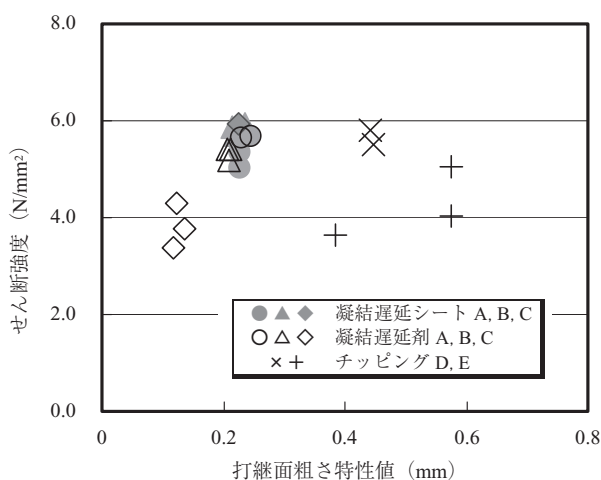


図 - 19 打継面粗さ特性値とせん断強度の関係 (チップングのグループを含む)

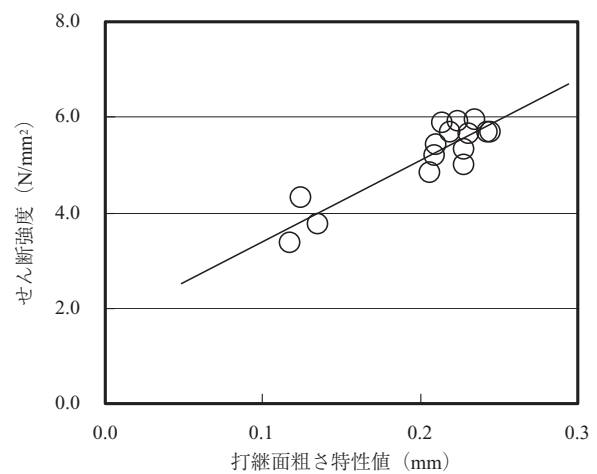


図 - 20 打継面粗さ特性値とせん断強度の関係 (高圧水洗い出し処理のグループ)

そこで、チップング処理のグループを除外し、凝結遅延シート貼付・凝結遅延剤塗付のうえで高圧水洗い出し処理を行ったグループに限定して、打継面粗さ特性値とせん断強度の関係を、図 - 20 に示す。これにより、打継面粗さ特性値とせん断強度は、おおむね比例関係にあり、打継面粗さ特性値に基づいてせん断強度を評価できることが分かった。

さらに、打継面粗さ特性値によるせん断強度評価の妥当性を確認するために、打継面粗さ特性値と既往の研究で用いられた表面粗さの指標 (平均粗さ) との相関を、高圧水洗い出し処理を行ったグループについて検討した結果を、図 - 21 に示す。

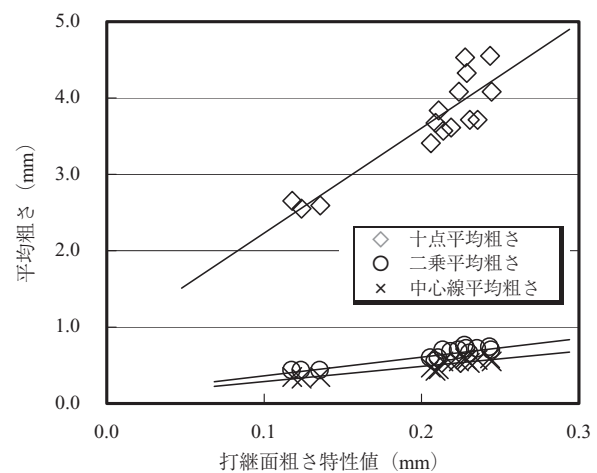


図 - 21 打継面粗さ特性値と平均粗さの関係 (高圧水洗い出し処理のグループ)

これによると、打継面粗さ特性値は、十点平均粗さ、二乗平均粗さ、中心線平均粗さのいずれとも相関性があることが分かった。とくに、ほぼ同一の評価手法と考えられる二乗平均粗さと中心線平均粗さとの相関が強い結果となり、打継面粗さ特性値によるせん断強度評価の妥当性が確

認できた。

なお、この結果は図 - 16, 17 のスペクトル図において周波数が $\omega = 0.02$ より小さい帯域で、FFT 解析で基本周期が 190 mm とみなされることにより生じる大きなピーク以外に、とくに大きなうねり成分のピークが見られないことも分かるように、試験体が比較的小型で打継面に湾曲が生じにくかったことから、既往の粗さ評価指標と打継面粗さ特性値の間に強い相関が得られたもので、実構造物において打継面が湾曲している場合などでは、既往の粗さ評価指標によるせん断強度評価法は精度が低下する可能性があると考えられる。

5. 結 言

コンクリートの打継面をデジタルカメラで撮影し、写真計測技術を応用して得られた打継面凹凸形状データに基づくせん断強度評価システムを開発し、妥当性を確認するためにせん断試験を行った。

ここで得られた知見は、以下のとおりである。

- (1) 任意の周波数帯における打継面粗さスペクトル曲線下の面積の平方根を打継面粗さ特性値 R_{sp} とし、これに基づき現場において打継面のせん断強度を評価できるシステムを開発した。
- (2) 打継面凹凸形状の周波数帯上限値を $\omega = 0.05$ 程度として打継面粗さ特性値 R_{sp} を算出するためには、1 000 万画素程度のデジタルカメラを用いて打継面をステレオ撮影し、画像解析を行って打継面の 3 次元形状計測を行うシステムにより、十分な精度で凹凸形状座標が得られることが確認できた。
- (3) 二面せん断試験により、凝結遅延シートを貼付あるいは凝結遅延剤を塗付したうえで高圧水洗い出し処理を行う打継目については、精度 0.1 mm 程度の写真計測で得た打継面凹凸形状の周波数帯を $\omega = 0.02 \sim 0.05$ に設定して求めた打継面粗さ特性値 R_{sp} に基づいて、おおむねせん断強度を評価できることが分かった。
- (4) チッピング処理を行う打継目については、打継面粗さ特性値とせん断強度の相関性が低い結果となった。
- (5) 二面せん断試験において、凝結遅延シート貼付のうえで高圧水洗い出し処理を行う打継目は、打継処理程度

相違に大きな影響を受けず、チッピング処理を入念に行った打継目と同等のせん断強度を有している結果が得られた。

打継面粗さ特性値 R_{sp} の算出に用いるスペクトル解析は、無限長時系列を前提としているために、有限個数の離散データを取り扱うかぎり、データ長を基本周期とみなすことによる誤差が生じる。この誤差は打継面粗さ特性値 R_{sp} に影響を与えるため、誤差の影響を軽減させるための窓関数による処理などを今後検討していきたい。また、せん断試験データを蓄積することにより、打継面粗さ特性値とせん断強度の関係においてより強い相関性が得られる周波数帯を検討することも、今後の課題である。

一方、打継面写真計測システムを用いて打継面形状座標を得ると、これより凹凸の山の高さ、山裾の幅、表面積などが算出でき、これらに相関性が認められれば、打継面の凹凸形状に基づく粗さ特性値によって、せん断強度だけでなく引張強度なども評価できる可能性があると考えられ、今後データの蓄積を図りながら検討を進めていきたい。

この報告がプレストレストコンクリートの高品質化に向けた一助になれば幸いである。最後に、本システムの開発にあたりご尽力いただいた関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 横谷貴光, 香取慶一, 林 静雄: コンクリート打継ぎ面における表面粗さの評価とせん断力伝達能力に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.2, pp.171-176, 1995
- 2) 金子林爾, 山田一久: 超遅延剤を用いたコンクリートの表面粗さ評価と打継目強度に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.19, No.1, pp.517-522, 1997
- 3) 栗原哲彦, 西田好彦, 鎌田敏郎, 六郷恵哲: コンクリート打継目における表面処理粗さの定量化と付着性状の評価, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.2, pp.1261-1266, 1998
- 4) 日野幹雄: スペクトル解析, p.22, 朝倉書店, 2010
- 5) 六田充揮, 有田博昭, 池本義行, 生田 達, 平田隆祥, 十河茂幸: ポリエステル系凝結遅延シートの遅延速度制御と鉛直打継面の処理効果に関する研究, 土木学会論文集 No.690/ V-53, pp.55-63, 2001
- 6) 森脇貴志, 辻 幸和, 橋本親典, 中島貴弘: ポリマーセメントモルタルを打継ぎ材に用いた新旧コンクリートの打継ぎ強度特性, 土木学会論文集 No.538/ V-31, pp.15-26, 1996

【2011年6月30日受付】