

空中超音波を用いた粗度係数計測器
SODOTOR2000のご紹介

2023年6月7日
丸栄コンクリート工業 株式会社 仙台支店

1. はじめに
2. 粗度係数計測器の開発
3. 活用事例
4. 今後の展開

1.1 開発経緯

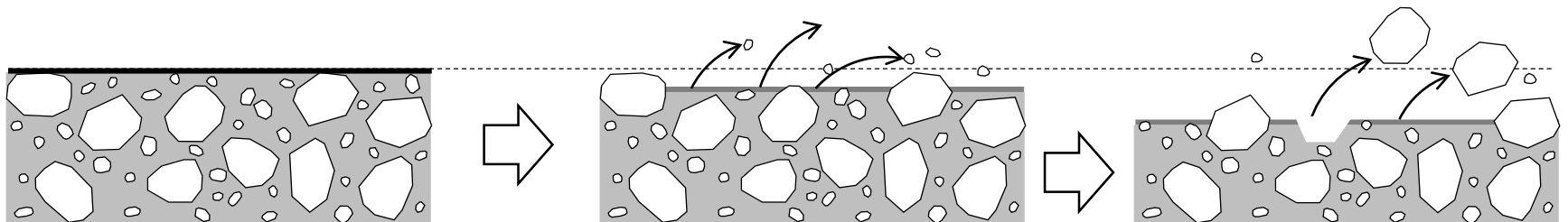
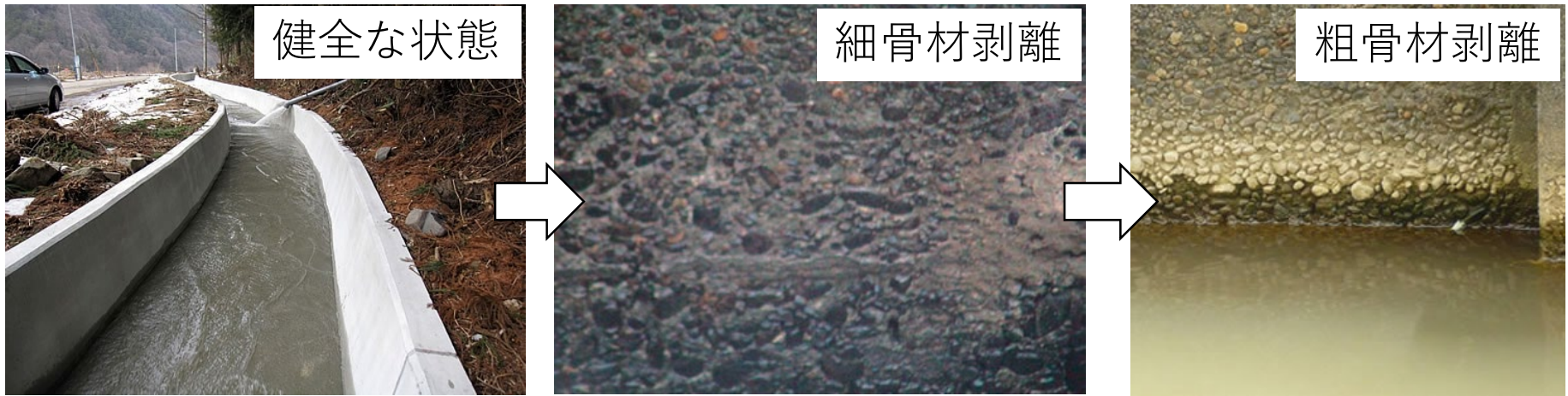
コンクリート製水路では、機能診断において水理機能の低下を補修・更新の要因とすることが多く、流水によってコンクリート表面の凹凸である“粗さ”が増大し、粗度係数を上昇させることに起因しています。

しかし、機能診断における粗さの判定は目視に依存していることが多く、コンクリート表面の粗さによる粗度係数を定量的に評価する方法が求められています。また、ストックマネジメントにおいて最も望まれる劣化予測についても、定量的な評価によるデータの蓄積が不可欠であると考えます。

そこで、流水による摩耗によって生じたコンクリート表面の“粗度係数”を、空中超音波を用いて「簡便」に「面的な情報」を「短時間」に計測を可能とした「SODOTOR 2000」を開発しました。

1.2 水流摩耗の進行

鉄筋コンクリートで構築された水路は、高度成長期以降に整備されており、今後、更新時期を迎えることとなる。特に、水流によりコンクリート表面が摩耗され、水理機能の低下が危惧されている。



粗度係数 小 ⇒ 粗度係数 大

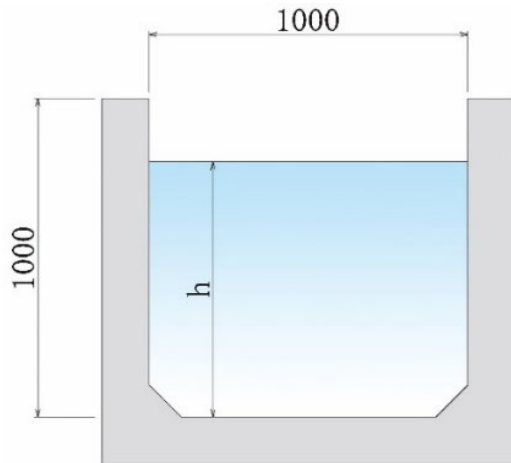
1. はじめに

1.3 粗度係数とは

粗度係数 = 水流が側壁・底面と接する際の抵抗量を示した数値

粗度係数nが大きい ⇒ ざらざらしている。平均流速は遅くなり、流量が減少

粗度係数nが小さい ⇒ つるつるしている。平均流速は早くなり、流量が増加



想定断面

高さ	1.0m
幅	1.0m
水路勾配	1/500

1) 水深（8割）が一定で粗度係数が変化

粗度係数	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020
水深 (m)	800				
流量 (m ³ / s)	1.37	1.17	1.02	0.91	0.82
変化率 (%)	117.1	100	87.2	77.8	70.1

設計値範囲

30%低下

2) 流量が一定で粗度係数が変化

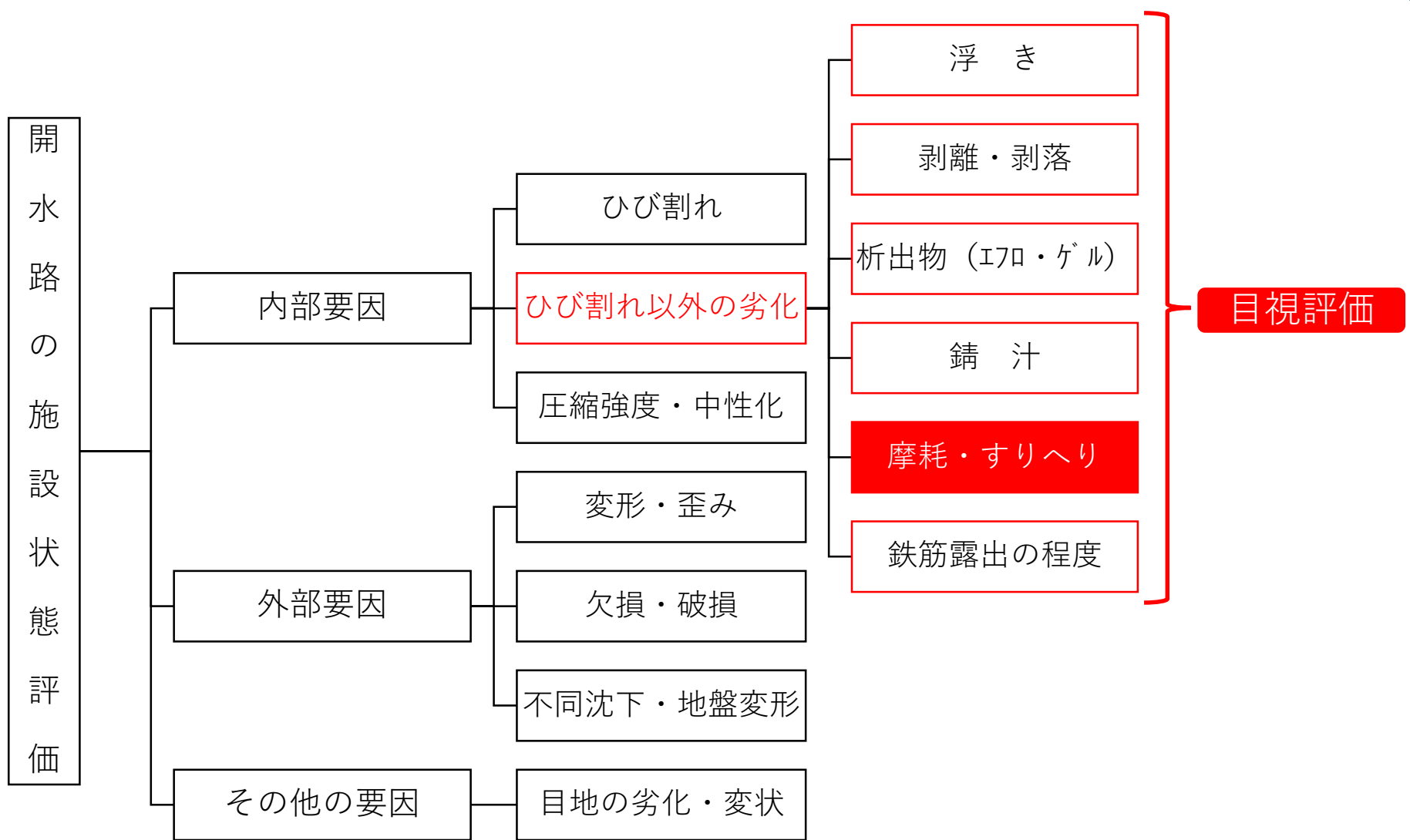
粗度係数	0.012	0.014	0.016	0.018	0.020
水深(m)	1.17				
水位 (m)	0.71	0.80	0.89	0.97	1.00
変化率 (%)	88.8	100	111.3	121.3	125

設計値範囲

overflow

1. はじめに

1.4 健全度評価の現状



※農業水利施設の機能保全の手引き（平成19年3月）より

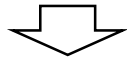
1.4 健全度評価の現状

摩耗・すりへり（粗度）の評価は、目視により判定しており不十分。

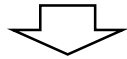
摩耗の状況	模式図	評価区分 (摩耗・すりへり)	粗 度
摩耗無		S - 5	粗度小 粗度大
細骨材露出 (モルタルが剥がれている状態)			
粗骨材露出		S - 4	
粗骨材剥落		S - 3	
		S - 2	

1.5 定量評価手法の必要性

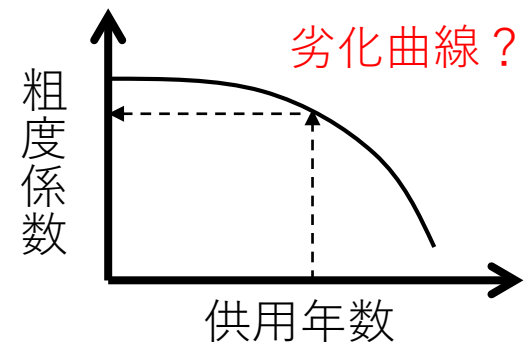
摩耗・すりへりを定量評価する手法がない



水路の健全度を数値化できない



劣化予測ができない



粗度係数計測器の開発による粗度の数値化（定量評価導入）

導入メリット

① 摩耗・すりへりの評価

摩耗すりへりに関する定量評価が可能となることにより、目視による判定が不要となる。

② 水理機能の検証

摩耗・すりへりによる粗度低下による水理機能を確認できる。

劣化予測が可能となり機能保全計画の策定が容易になる

2. 粗度係数計測器の開発

2.1 粗度係数計測の基本原則

空中超音波の特性は、滑らかな面（平滑面）は反射波が大きく、粗い面（粗面）は、反射波が小さくなる。その基本原理を応用して、コンクリート表面の粗度係数計測を可能とした。

平滑面の場合

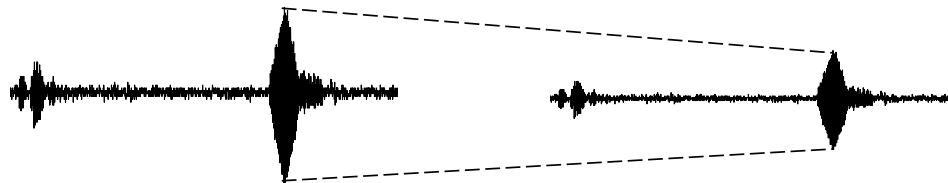


コンクリート面

粗面の場合



コンクリート面

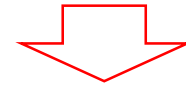


最大振れ幅：大きい

最大振れ幅：小さい

単純な原理

- ・コンクリート面は超音波をほぼ100%反射する。
- ・対象物が粗面の面、超音波は乱反射する。



反射波の振れ幅が変化する

2. 粗度係数計測器の開発

2.1 粗度係数計測の基本原則

実験水路を用いて、コンクリート表面の凹凸（粗さ）の違いによる粗度係数の実測データと、空中超音波の振れ幅の大小による関係式を確立し、粗度係数の計測を可能とした。



凹凸が規格化されている発泡パネルを用いた水理実験

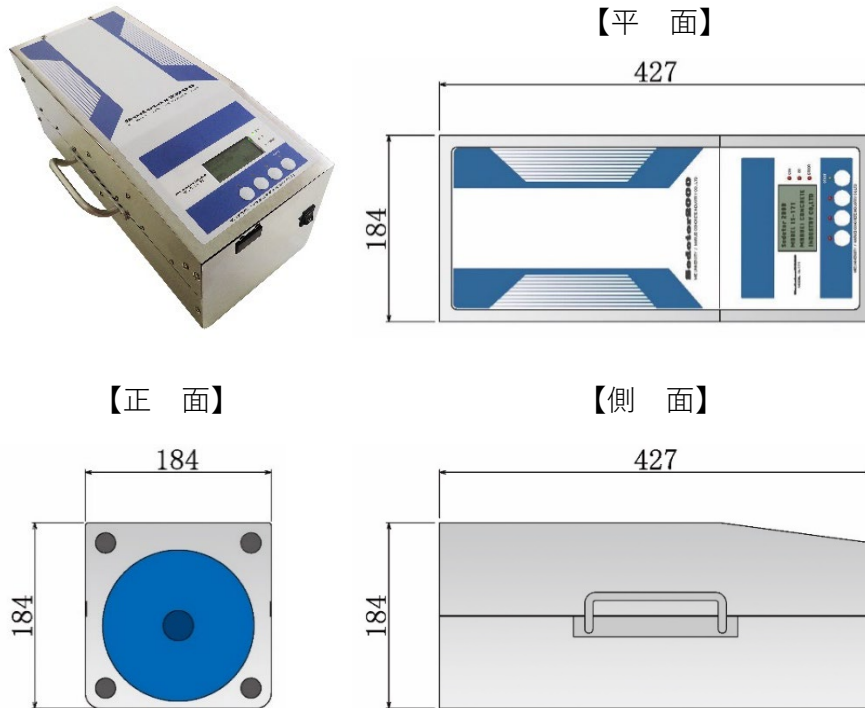


レーザー距離計を用いて非接触での水位計測

2. 粗度係数計測器の開発

2.2 計測器概要

粗度係数計測器＜SODOTOR（ソドトル）-2000＞



本体サイズ	(H)184mm×(B)184mm×(L)427mm
本体重量	3.5 kg
電 源	乾電池
記録媒体	SDメモリーカード
内蔵機能	計測日時・位置（GPS）・粗度係数



粗度係数の計測を実現



計測状況（側壁）



計測状況（底版）

2.3 特 長

①簡単な操作

- ・粗度係数を「簡便」に「面的な情報」を「短時間」に計測可能
- ・簡単な操作で粗度係数を数値化

②計測データの蓄積

- ・計測データは、SDカードに自動で記録
- ・記録されたデータは、エクセルで編集

③計測データ活用

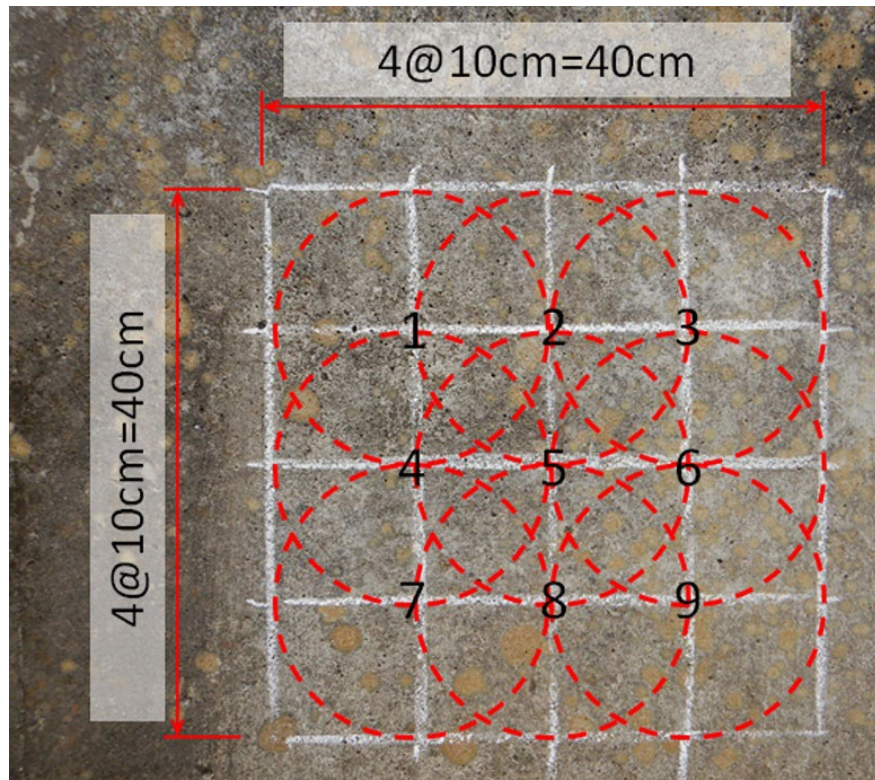
- ・定点計測により、劣化変化を確認
- ・定期計測により、経年変化を管理し、劣化予測を把握
- ・ストックマネジメントのモニタリング調査に活用

2. 粗度係数計測器の開発

2.4 計測方法

①計測位置の設定

- 1) 水平・鉛直方向に罫書き線を引く。
(10cm間隔)
- 2) 線の交点を計測する。(9回/箇所)
- 3) 9回/箇所の平均値を代表値とする。

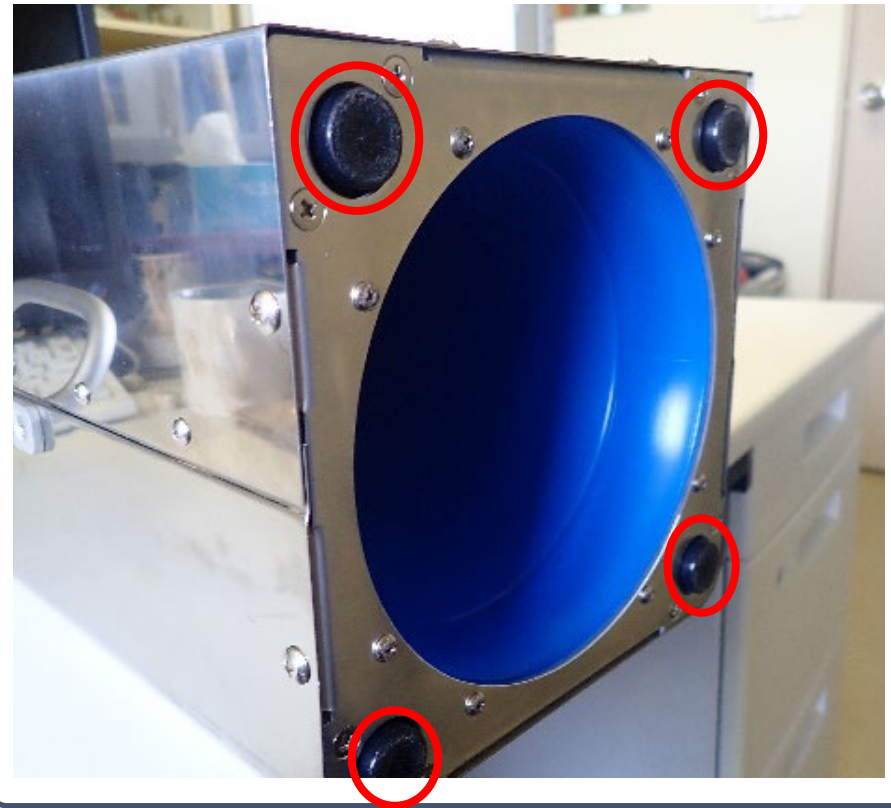


②計測開始

計測面に押し当てることでフロントボタンが反応して計測を開始。

(3箇所以上反応すると計測開始)

※凹凸の大きい場合には、計測面に押し当てた状態で手元にある計測ボタンでの計測も可能。



2. 粗度係数計測器の開発

2.4 計測方法

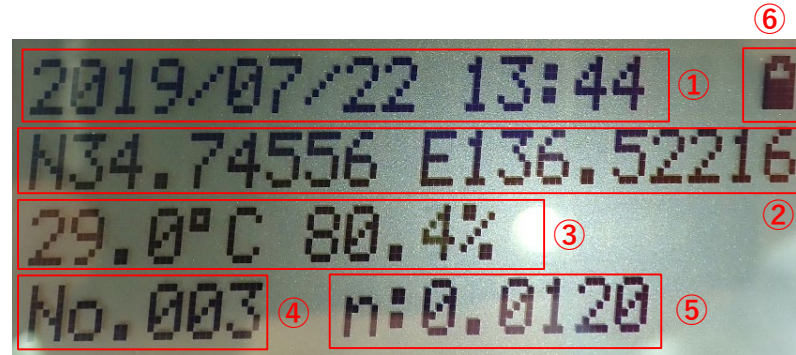
③ 計測値の確認

液晶モニターで計測データが確認可能。



計測時間：約 2.0分

※清掃・位置決め時間除く



- ①日時 ②緯度経度
- ③温度・湿度
- ④No, ⑤粗度係数
- ⑥電池残量

④ 計測データ保存

計測されたデータは、SDカードにCSV保存でき、エクセルを使用して簡単に計測データの整理が可能。



→
CSVデータを
PCへ移動・編集

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	No.	日付	時刻	粗度係数	温度(°C)	湿度(%)	気圧(hPa)	緯度	経度
2	1	20211209	9:48:24	0.0130	16.6	55.5	965.5	N35.55965	E137.43683
3	2	20211209	9:48:26	0.0104	16.6	55.5	965.6	N35.55965	E137.43683
4	3	20211209	9:48:53	0.0133	16.6	55.5	965.5	N35.55966	E137.43683
5	4	20211209	9:49:08	0.0112	16.6	55.6	965.6	N35.55965	E137.43683
6	5	20211209	9:49:07	0.0116	16.7	55.5	965.6	N35.55965	E137.43683
7	6	20211209	9:49:37	0.0157	16.7				3683
8	7	20211209	9:49:51	0.0138	16.7				3683
9	8	20211209	9:50:00	0.0109	16.7				3683
10	9	20211209	9:50:22	0.0134	16.7	55.6	965.5	N35.55965	E137.43683

9 回 / 箇所の平均値
n=0.0126

2. 粗度係数計測器の開発

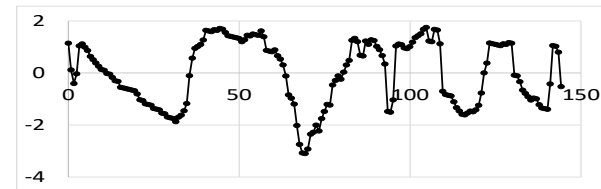
2.5 データ検証

データ検証は型取りゲージにより、表面の算術平均粗さを計測した結果から算出した粗度係数との比較を実施した。

型取りゲージ



算術平均粗さ: R_a



粗度係数 $k_s = 2 \times R_a$

$$n_s \approx 0.042 k_s^{\frac{1}{6}}$$

R_a :算術平均粗さ, k_s :相当粗度

n_s :換算粗度係数

但し、算術平均粗さは、計測位置の一部の線上の情報のみ

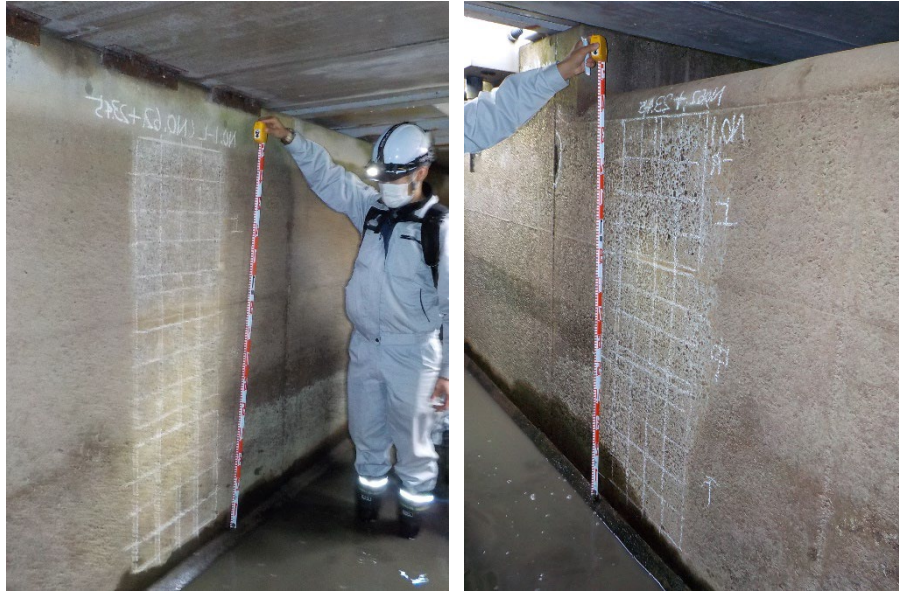
2. 粗度係数計測器の開発

2.5 データ検証

※相対誤差：(測定値(計測器)－理論値(型取))÷理論値 (型取)

2地点で計測器及び型取りゲージを用いた計測結果を表に示す。

No. 1地点



No. 2地点



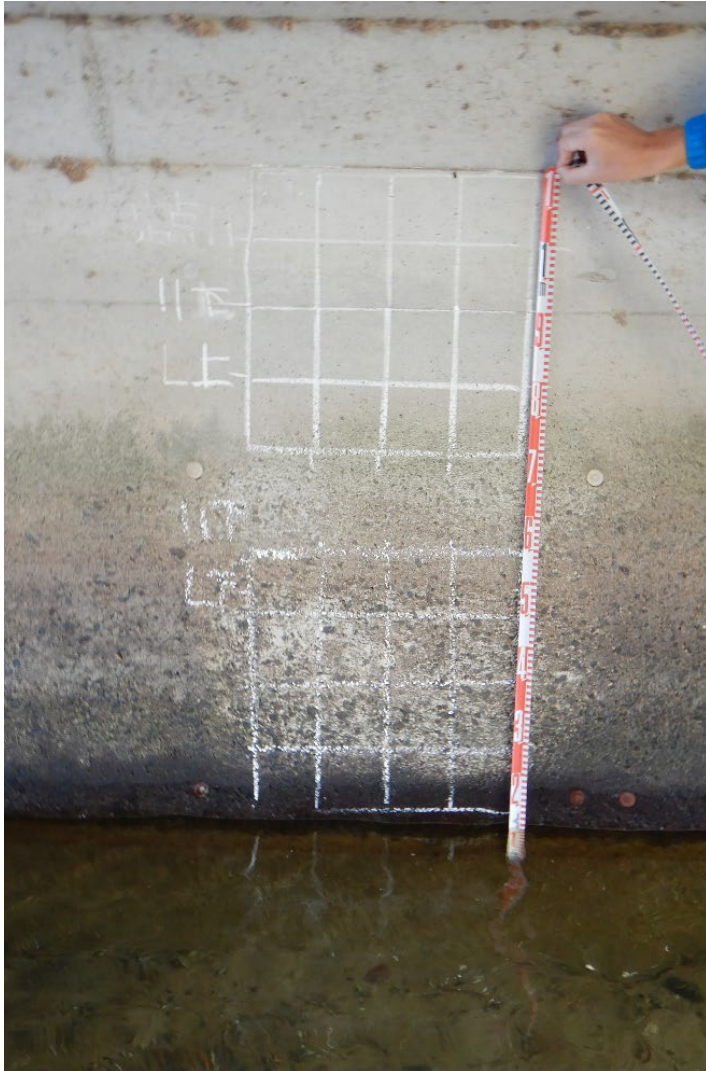
計測箇所		計測結果(粗度係数)		相対誤差
		計測器(平均値)	型取(算出値)	
側壁左	上	0.0154	0.0169	8.7%
	中	0.0172	0.0171	0.8%
	下	0.0150	0.0167	9.9%
側壁右	上	0.0208	0.0185	12.4%
	中	0.0210	0.0186	12.6%
	下	0.0195	0.0190	2.5%

計測箇所		計測結果(粗度係数)		相対誤差
		計測器(平均値)	型取(算出値)	
側壁左	上	0.0150	0.0174	13.7%
	中	0.0160	0.0171	6.3%
	下	0.0150	0.0176	14.8%
側壁右	上	0.0108	0.0125	13.0%
	中	0.0162	0.0176	7.9%
	下	0.0147	0.0128	15.3%

表面粗度の面的な情報を短時間に計測することを実現！

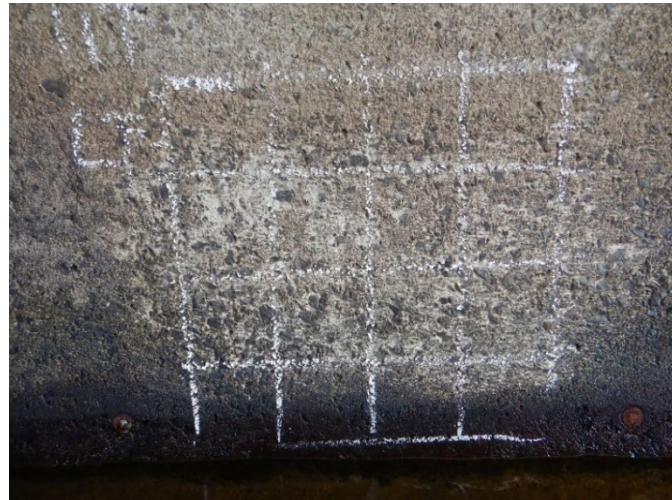
活用事例① 「現場打ち水路での計測（例）」

①側壁（左岸）上側での計測結果



調査番号	粗度係数計測値
1	0.0095
2	0.0095
3	0.0104
4	0.0110
5	0.0095
6	0.0095
7	0.0099
8	0.0104
9	0.0099
平均値	0.0100

②側壁（左岸）下側での計測結果

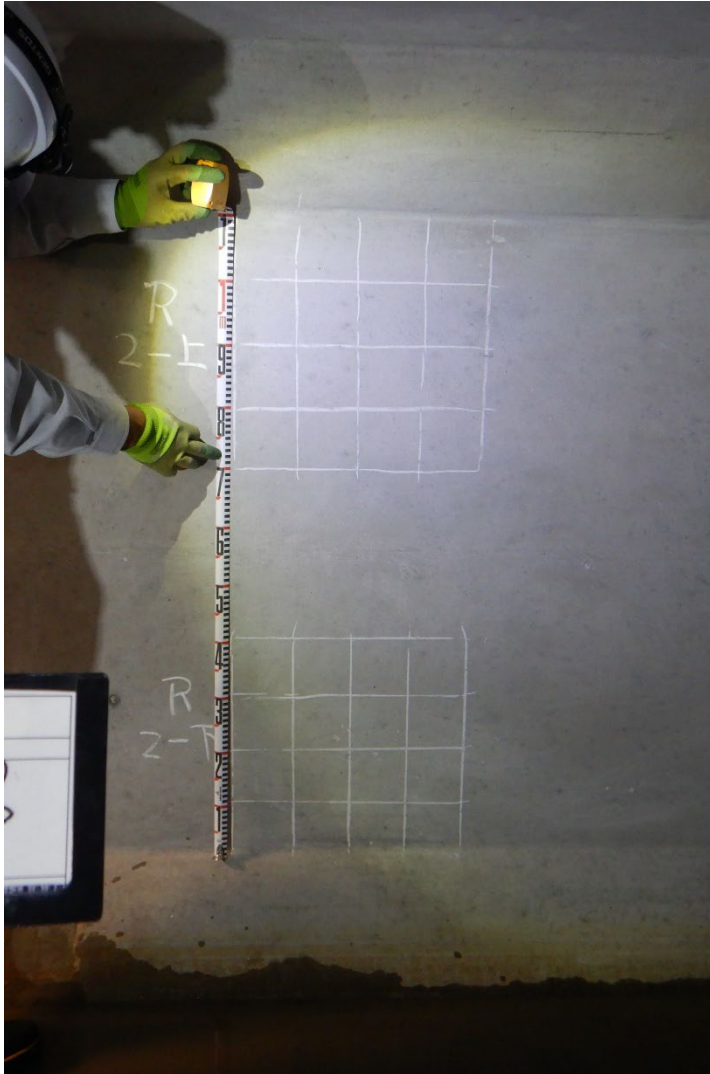


調査番号	粗度係数計測値
1	0.0156
2	0.0167
3	0.0182
4	0.0192
5	0.0190
6	0.0178
7	0.0188
8	0.0146
9	0.0133
平均値	0.0170

活用事例② 「プレキャスト水路での計測（例）」

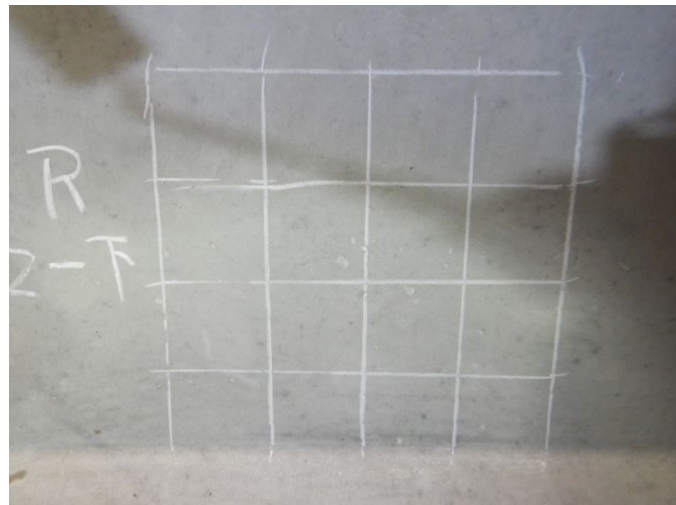
【供用開始時】

①側壁（右岸）上側での計測結果



調査番号	粗度係数 計測値
1	0.0097
2	0.0097
3	0.0098
4	0.0095
5	0.0098
6	0.0095
7	0.0095
8	0.0095
9	0.0095
平均値	0.0096

②側壁（右岸）下側での計測結果



調査番号	粗度係数 計測値
1	0.0103
2	0.0098
3	0.0098
4	0.0096
5	0.0101
6	0.0101
7	0.0097
8	0.0097
9	0.0103
平均値	0.0099

活用事例② 「プレキャスト水路での計測（例）」

【供用4年後】



①側壁（右岸）上側での計測結果



調査番号	粗度係数 計測値
1	0.0097
2	0.0097
3	0.0097
4	0.0097
5	0.0100
6	0.0095
7	0.0097
8	0.0109
9	0.0100
平均値	0.0099

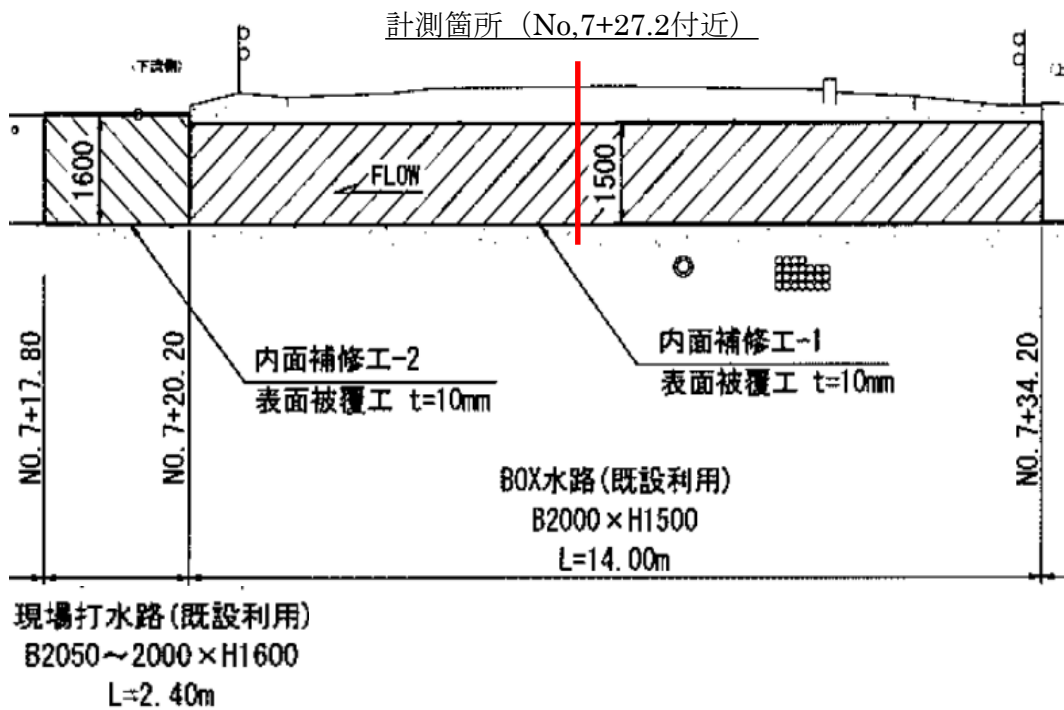
②側壁（右岸）下側での計測結果



調査番号	粗度係数 計測値
1	0.0099
2	0.0101
3	0.0109
4	0.0128
5	0.0126
6	0.0128
7	0.0130
8	0.0138
9	0.0145
平均値	0.0123

活用事例③ 「補修確認計測での活用」

調査場所	F地区
調査項目	空中超音波法による粗度係数計測（5点平均での計測）
調査目的	機能診断（補修前・補修後機能確認）

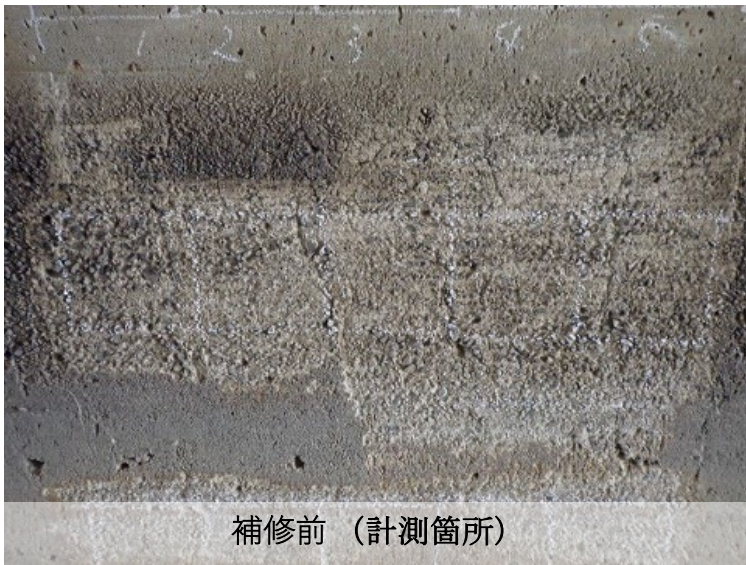


計測状況

活用事例③ 「補修確認計測での活用」



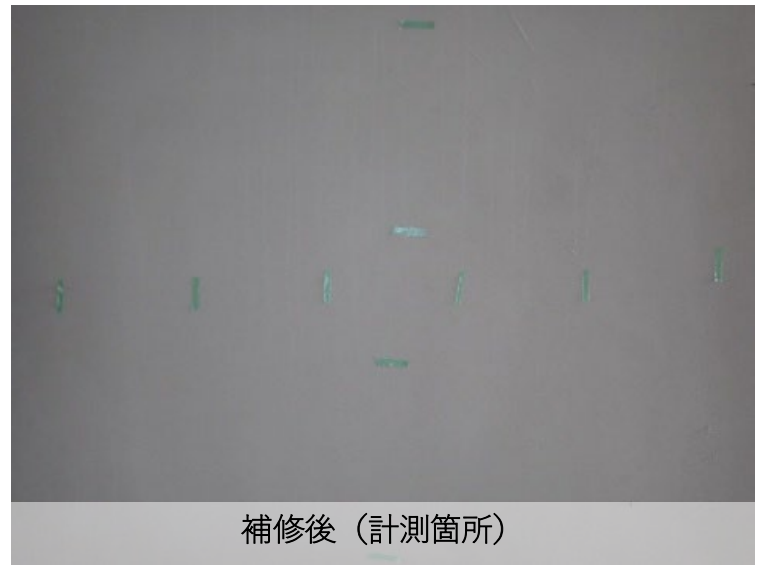
補修前（計測箇所）



補修前（計測箇所）

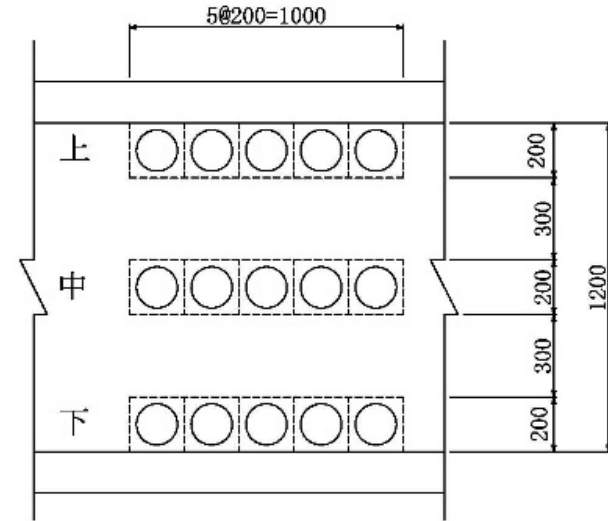
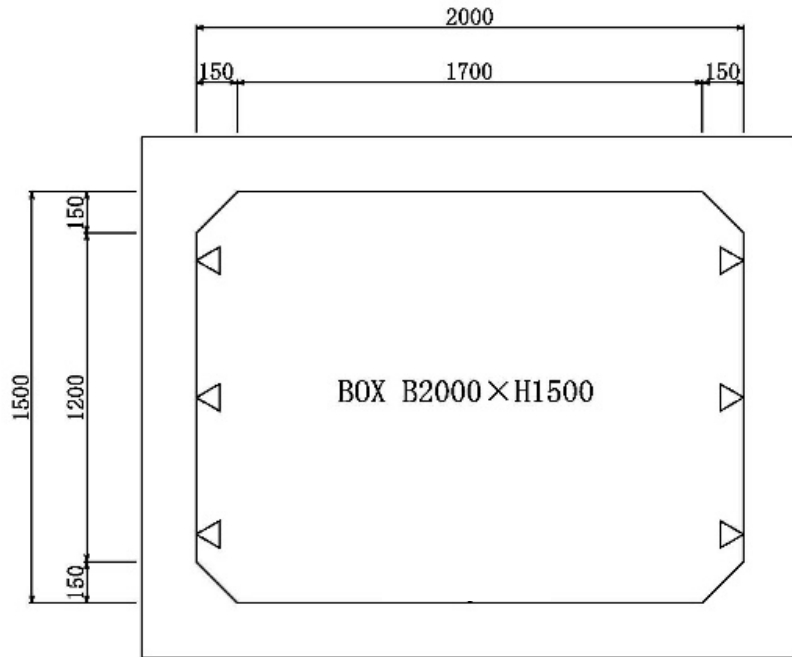


補修後（計測箇所）



補修後（計測箇所）

活用事例③ 「補修確認計測での活用」



計測場所	補修前	補修後
L-上	0.0101	0.0101
L-中	0.0199	0.0095
L-下	0.0199	0.0099
R-上	0.0118	0.0105
R-中	0.0218	0.0098
R-下	0.0208	0.0104



粗度係数計測器による計測
結果より、補修前後の
粗度係数を把握して
劣化予測データとして活用

4. 今後の展開

1. 調査マニュアルの整備

粗度係数計測器を用いた計測マニュアルの確立

2. 機能診断への活用

摩耗・すりへりの健全度評価への粗度係数の導入

3. 計測データの蓄積

粗度係数計測器による計測データを蓄積

4. 活用範囲の模索

劣化予測への活用推進

補修工事での施工・品質管理への活用

計測した粗度係数を活用した水理機能の検証

MARUEI MISSION

人と環境と地域のための価値創造



MISSION

01 地域を守る

雨水を貯留し、豪雨による被害から街や財産を守ります。

MISSION

02 施設を守る

外周を囲い、浸水から施設やインフラを守ります。

MISSION

03 人と環境を守る

プレキャストコンクリートによる護岸工を開発。

屋内ブース：A-85 屋外ブース：G-15に出展中

ご来場いただきますよう、宜しくお願いいたします!