

青木あすなろ建設 技術研究所報

ASUNARO AOKI RESEARCH REPORT

Vol.11 2026. 4

青木あすなろ建設 技術研究所報

ASUNARO AOKI RESEARCH REPORT

Vol.11 2026. 4

ごあいさつ

技術研究所長
高橋 禎夫

青木あすなろ建設技術研究所報 Vol.11 の発行にあたり、謹んでご挨拶を申し上げます。

当社の技術研究開発は「未来を切り拓くベンチャー」を標榜し、社会課題や新たな試みへの挑戦を通じて、建設技術の創出に貢献することを基本理念としております。

近年、激甚化する自然災害や社会インフラの老朽化、さらには建設業界における労働力不足や環境問題への対応など、私たちを取り巻く環境は大きな転換期を迎えています。このような状況下で建設技術が果たすべき役割はますます重要となり、より一層の技術革新が不可欠です。

本報では、こうした社会の要請に応えるべく取り組んできた研究開発成果の中から、選りすぐりの論文7編を掲載いたしました。

「防災・減災技術の高度化」として摩擦ダンパー技術に関する報告を3編、「インフラの長寿命化と生産性向上」に貢献するコンクリート技術を3編、そして循環型社会を見据えた土工技術として建設発生土の施工性向上に関する研究成果を1編収録しております。

技術特集では、建設技術展での「審査委員特別賞」受賞をはじめ、耐震補強工事への適用事例、建築技術性能証明の取得など、顧客ニーズに応え、社外からも高く評価された実用化技術をご報告いたします。

加えて、特別特集として、昨年184日間にわたる開催で延べ2900万人を超える方々が来場した「2025大阪・関西万博」への出展の軌跡など、当社の技術力を社会に広く発信した活動についてもご紹介しております。

本報に掲載された一つひとつの研究成果や活動報告が、今後の建設技術の発展に寄与し、安全・安心で持続可能な社会の実現に繋がるものと期待しております。

今後とも、皆様の変わらぬご指導ご鞭撻を賜りますよう、心よりお願い申し上げます。

令和8年3月吉日

目 次

1. 技術研究報告

- (1) 橋梁用“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の低温時性能に関する実験的研究 1
土田 堯章・波田 雅也・山崎 彬・下村 将之
- (2) 設置後約 20 年が経過した外付け制震ブレース用「40tf 摩擦ダンパー」性能確認 6
土田 堯章・波田 雅也・上田 英明
- (3) 新築建築物への適用を想定した 1600kN 級四連型大容量摩擦ダンパーの開発 11
土田 堯章・波田 雅也・上田 英明
- (4) 撥水剤添加コンクリートにおける 2 次製品に関する検討 16
岡 流聖・谷口 克彦
- (5) 覆工コンクリートの打設を想定した非接触式センサーによる高さ測定方法の実用化に向けた検討 22
村田 康平・駒田 憲司・佐藤 俊男
- (6) 打継処理面の定量評価に関する検討 27
谷口 克彦・岡村 宏一・新村 稔
- (7) 比抵抗値による盛土の締固め状況把握技術と既存技術との比較実験 32
落合 裕正

2. 技術特集

- (1) 建設技術展 2025 近畿にて「審査委員特別賞」を受賞 36
下村 将之・波田 雅也・土田 堯章・山崎 彬・泉田 真里
- (2) 「アンカー留太郎®」の橋梁耐震補強工事への適用 37
山崎 彬・波田 雅也・木村 浩之
- (3) “折返しプレート式座屈拘束ブレース”技術性能証明の取得 38
奥野 陸人・波田 雅也・村井 克綺・竹内 健一

3. 社外発表論文一覧 39

4. ニュースリリース 43

5. 特別特集「“未来の水中工事” 出展の軌跡」 46

CONTENTS

1. Technical Report

- (1) **Study on the Performance of a "Die and Rod type Friction Damper" at Low Temperatures** 1
 Takaaki TSUCHIDA, Masaya HADA, Akira YAMASAKI, Masayuki SHITAMURA
- (2) **A Study of Aging Effect on a 40tf class Friction Damper in Exterior Damping Brace After about 20 years in Use** 6
 Takaaki TSUCHIDA, Masaya HADA, Hideaki AGETA
- (3) **Development of a 1600kN class Quadruple-type Large-capacity Friction Damper for Application to New Buildings** 11
 Takaaki TSUCHIDA, Masaya HADA, Hideaki AGETA
- (4) **Study on Precast Concrete Products Made with Water-Repellent-Admixed Concrete** . . . 16
 Ryusei OKA, Katsuhiko TANIGUCHI
- (5) **Study on the Practical Application of a Height Measurement Method using Non-contact Sensor for Lining Concrete Placement** 22
 Kohei MURATA, Kenji KOMADA, Toshio SATO
- (6) **Research on Quantitative Evaluation of Construction Joint Surface Preparation** 27
 Katsuhiko TANIGUCHI, Kouichi OKAMURA, Minoru NIIMURA
- (7) **An Experimental Comparison of Embankment Compaction Assessment Methods Based on Specific Resistance Values and Existing Techniques** 32
 Hiromasa OCHIAI

2. Technology Feature

- (1) **Received The "Judges' Special Award" at The Construction Technology Exhibition 2025 in Kinki** 36
 Masayuki SHITAMURA, Masaya HADA, Takaaki TSUCHIDA, Akira YAMASAKI,
 Mari IZUMIDA
- (2) **Application of "Anchor Tometaro" in bridge seismic reinforcement work** 37
 Akira YAMASAKI, Masaya HADA, Hiroyuki KIMURA
- (3) **Technical Performance Certification of Folded Plate Buckling Restrained Brace** 38
 Rikuto OKUNO, Masaya HADA, Katsuki MURAI, Kenichi TAKEUCHI

3. External Presented Paper List 39

4. Introduction of Technical News 43

5. Special Feature: "The Journey of Our Exhibit Underwater Construction of the Future" 46

1. 技術研究報告

1. 橋梁用“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の低温時性能に関する実験的研究

Study on the Performance of a "Die and Rod type Friction Damper" at Low Temperatures

土田 堯章* 波田 雅也* 山崎 彬* 下村 将之*

—概要—

筆者らは、橋梁の支承部に「ダイス・ロッド式摩擦ダンパー[®]（以下、摩擦ダンパー）」を設置して耐震性向上を図る技術を提案している（図1）。摩擦ダンパーのエネルギー吸収性能や耐久性は、先行研究において実験的に確認されている。しかし、寒冷地を想定した低温時の性能は確認されていない。寒冷地でダンパーを用いる場合は、低温時性能を適切に考慮して設計する必要がある。そこで、本研究では、摩擦ダンパーの低温時性能を確認することを目的とした載荷実験を行った（写真1）。

—技術的な特長—

摩擦ダンパーの摩擦機構（図2）は、ダイス（鋼材の環）とロッド（銅合金の芯棒）で構成される。ダイスの内径より少し太いロッドをダイスに挿入することで、ロッド外周に締付け力が常に作用し、ダイスがロッド上を摺動するとロッド外周に摩擦力が発生する。研究対象としている低温状態では、線膨張係数が異なるダイスとロッドの内・外径が常温時に比べて収縮するため、締付け力の低下に応じて摩擦荷重が低下すると考えられる。

実験の結果、常温（約23℃）から-30℃まで温度を下げて安定した完全弾塑性型の履歴形状を示し、摩擦荷重の変化は-10%以下であったことから、摩擦ダンパーは温度依存性の小さい優れた低温時性能を有することが確認された（図3、4）。

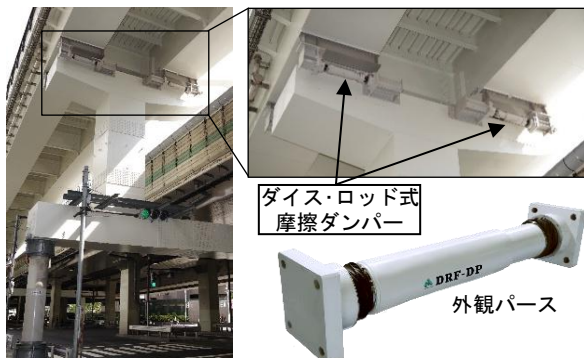


図1 摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強工法

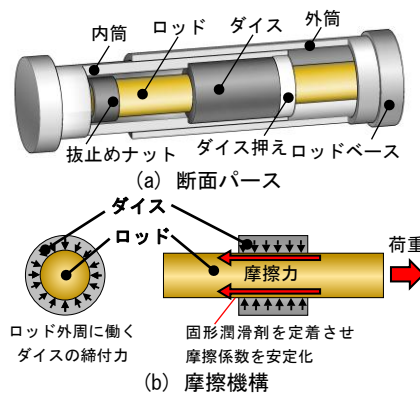


図2 摩擦ダンパーの概要



写真1 実施状況

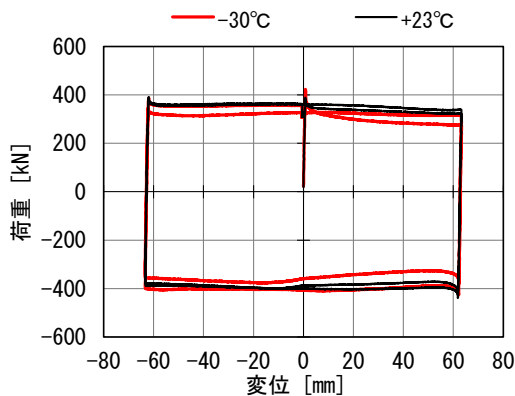


図3 荷重 - 変位関係の比較 (No. 2)

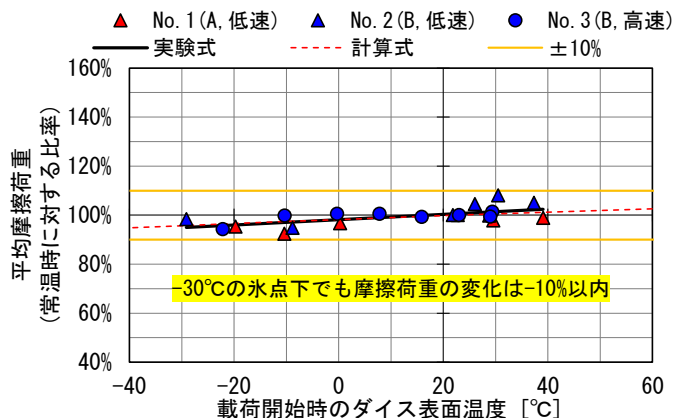


図4 摩擦荷重と温度の相関関係

※本報の一部は、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会(CS10-76, 2025.08)で発表済みである。

*技術研究所 構造研究部

橋梁用“ダイス・ロッド式摩擦ダンパー”の低温時性能に関する実験的研究 Study on the Performance of a "Die and Rod type Friction Damper" at Low Temperatures

○土田 堯章* 波田 雅也* 山崎 彬* 下村 将之*
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Akira YAMASAKI Masayuki SHITAMURA

ABSTRACT The authors have proposed a technology to improve earthquake resistance by installing die-rod friction dampers in bridge bearings. The energy absorption performance of friction dampers has been confirmed experimentally, but their performance at low temperatures, such as those found in cold regions, has not been confirmed. In this study, a loading experiment was conducted to confirm the friction damper's performance at low temperatures. The results showed that even when the temperature was lowered from room temperature to -30°C, the change in friction load was less than -10%, confirming that the damper has excellent low-temperature performance.

Keywords :摩擦ダンパー、ダイス・ロッド式、制震、低温時性能
Friction Damper, Die and Rod type, Seismic Control, Performance at Low Temperatures

1. はじめに

筆者らは、橋梁の支承部にダイス・ロッド式摩擦ダンパー（以下、摩擦ダンパー）を設置して、耐震性向上を図る技術を提案している^{1),2)}(図1)。摩擦ダンパーのエネルギー吸収性能や耐久性は、先行研究¹⁾⁻³⁾において実験的に確認されているが、寒冷地を想定した低温時の性能は確認されていない。寒冷地でダンパーを用いる場合は、低温時性能を適切に考慮して設計する必要がある⁴⁾⁻⁶⁾。そこで、本研究では摩擦ダンパーの低温時性能を確認することを目的とした載荷実験を実施した。

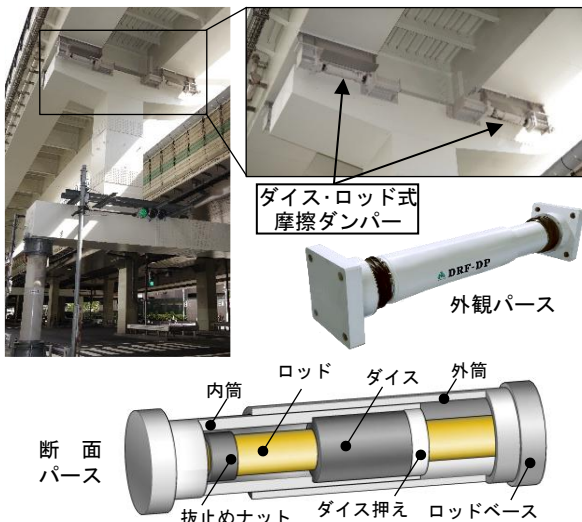


図1 摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強工法

2. ダイス・ロッド式摩擦ダンパー

摩擦ダンパーの摩擦機構を図2に示す。摩擦ダンパーは、ダイス（鋼材の環）とロッド（銅合金の芯棒）で構成される。ダイス内径より少し太いロッドをダイスに挿入することで、ロッド外周に締付け力が常に作用し、ダイスがロッド上を摺動するとロッド外周に摩擦力が発生する。摩擦荷重 F_{dp} は、締付け力 P_{die} に摩擦面の摩擦係数 μ を乗じることで求められる ($F_{dp} = P_{die} \cdot \mu$)^{1),3)}。

締付け力は弾性理論解^{3),7)}に基づいて算定され、ダイスとロッドの内・外径とダイス長さを変えることで調整する。また、摩擦係数 μ は摩擦面に二硫化モリブデン系の固形潤滑剤を定着させることで安定させている^{1),3)}。

本研究で対象としている低温状態では、ダイスとロッドの内・外径が常温時に比べて収縮する為、締付け力の低下に応じて摩擦荷重は低下することが考えられる。

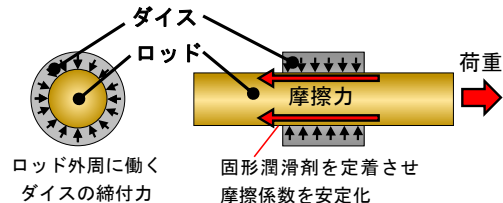


図2 摩擦ダンパーの摩擦機構

*技術研究所 構造研究部

※本報の一部は、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会(CS10-76,2025.08)にて発表済みである。

3. 実験方法

3.1 試験体

試験体の規格を表 1 に示す。試験体には、設定摩擦荷重：400kN、最大ストローク：±80mm の摩擦ダンパーを用いた。ダイス外径が 95mm、ダイス内径とロッド外径が約 59mm であり、試験体数は 2 体 (A, B) とした。なお、実際の設置状況よりも厳しい条件下における低温時性能を確認するため、外筒を外し、ロッドが露出した状態で試験を実施した。

3.2 冷却方法と載荷方法

冷却方法と載荷方法を図 3 および写真 1 に示す。本実験では、試験体を試験装置に設置した状態で周囲を厚さ 100mm の断熱材で覆い、その中に冷却材として板状に加工されたドライアイス投入して冷却した。半日程度かけて冷却した後、上部の断熱材と冷却材をばらして試験機に接続し載荷を行った。計測項目は、荷重と変位およびダイス・ロッド・内筒の表面温度である。なお、試験実施時期は夏季（試験場内室温：約+30°C、湿度：約 60%）であり、冷却したロッド表面に結露や霜が生じる環境であった（写真 1(f)）。

3.3 入力波形

入力波形を表 2 に示す。速度一定の三角波とし、低速（速度 0.4cm/s、振幅±64mm）と高速（速度 6.0cm/s、振幅±32mm）の 2 種類とした。1 回あたりの繰返し数は 2 サイクルとした。

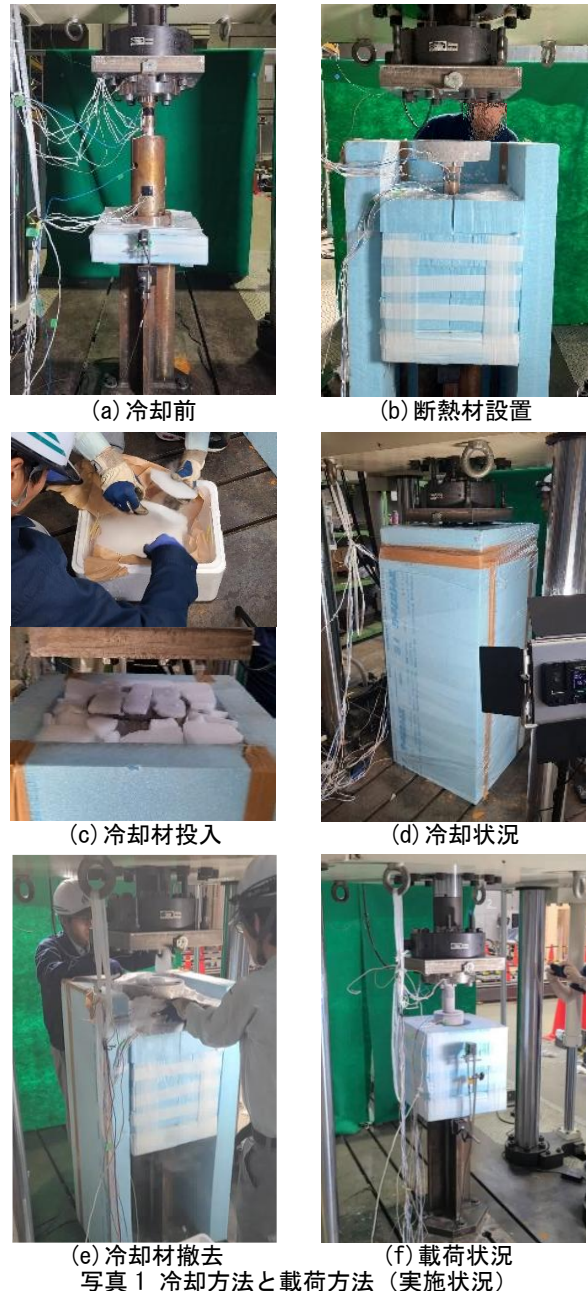


写真 1 冷却方法と載荷方法（実施状況）

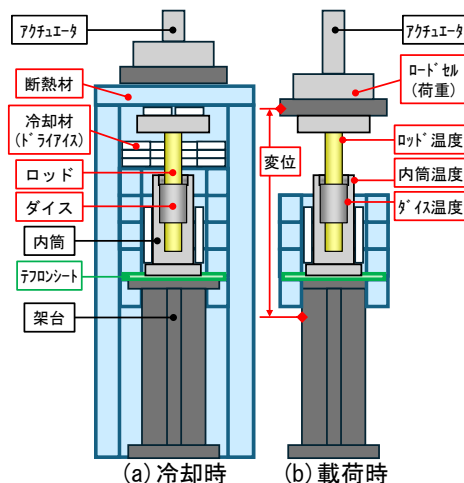


図 3 冷却方法と載荷方法（概念図）

表 1 試験体

試験体	規格
A	・ 設定摩擦荷重：400kN、最大ストローク：±80mm
B	・ ダイス外径：95mm、ダイス内径とロッド外径：約59mm

表 2 入力波形

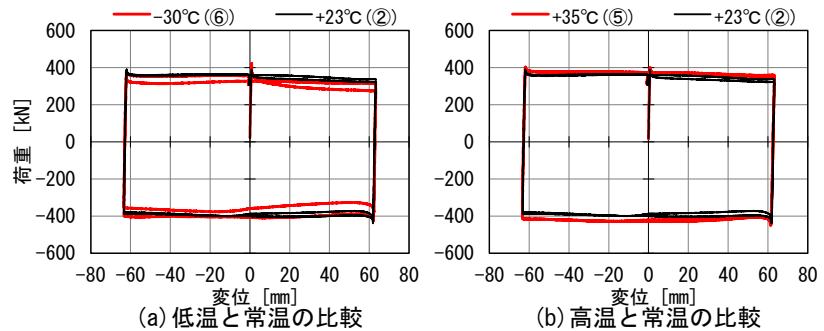
波形	種類	速度 V [cm/s]	振幅 A [mm]	周期 T [s]	繰返し数 n [サイクル]	継続時間 Σ T [s]	累積変位 Σ δ [mm]
低速	三角波	0.4	64	64.0	2	128	512
高速	三角波	6.0	32	2.1	2	4.3	256

表 3 載荷パターン一覧

ケース	試験体	波形	試験開始時のダイス表面温度 [°C]										
			-20°C (5)	-10°C (6)	±0°C (4)	+23°C (2)	+30°C (1)	+40°C (3)					
No. 1	A	低速											
No. 2	B	低速											
No. 3	B	高速											

3.4 荷重条件

荷重パターンの一覧を表 3 に示す。荷重パターンは、試験体と入力波形の組み合わせを変更した No.1~3 の 3 ケースとし、荷重開始時のダイス表面温度をおよそ-30℃~+40℃まで変化させた合計 21 パターンの荷重を実施した。表中の括弧書き①~⑧は、ケースごとの実施順序である。摩擦ダンパーは、荷重時のエネルギーを摩擦熱に変換して吸収し、温度が上昇する。そのため、本実験では、15 分以上のインターバルをあけて、ダイス表面温度の変動が落ち着いたことを確認した上で、次の荷重を実施した。



(a) 低温と常温の比較 (b) 高温と常温の比較
図 4 荷重 - 変位関係(ケース No. 2)

表 4 結果一覧(ケース No. 2)

パターン	試験名	サイクル	E吸収量 [kJ-mm]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]		最大荷重 [kN]		ダイス表面温度 [°C]			
					+	-	+	-	開始	最大	上昇	
No. 2	低温	-30°C (⑥)	1	83252.5	328.4	-	-358.6	371.4	-376.3	-29.1	9.6	38.7
		2	93060.7	369.2	327.0	-406.9	373.9	-409.4				
	常温	+23°C (②)	1	91871.5	363.9	-	-386.7	384.3	-421.2	21.9	60.5	38.6
		2	94806.2	375.5	360.5	-399.7	379.9	-427.3				
	高温	+35°C (⑤)	1	98464.9	390.0	-	-422.6	399.8	-438.1	37.4	76.1	38.7
		2	99560.5	394.4	373.4	-427.9	402.4	-443.4				
低温 (-30°C) / 常温 (+23°C)			90.6%	90.2%	-	92.7%	96.6%	89.3%	-	-	100.1%	
高温 (+35°C) / 常温 (+23°C)			98.2%	98.3%	90.7%	101.8%	98.4%	95.8%	-	-	100.3%	
			107.2%	107.2%	-	109.3%	104.0%	104.0%	-	-	100.3%	
			105.0%	105.0%	103.6%	107.1%	105.9%	103.8%	-	-		

※1: 平均摩擦荷重は、1サイクル毎にE吸収量(=E)を総滑り量で除した値。 ※2: 切片荷重は、Y切片を通過する時の値。

4. 実験結果

4.1 荷重 - 変位関係

荷重 - 変位関係と結果一覧をケース No.2 の試験結果から抜粋し、低温 (-30°C(⑥)) と高温 (+35°C(⑤)) をそれぞれ常温 (+23°C(②)) と比較して図 4 および表 4 に示す。図より、摩擦ダンパーは-30°Cの低温でも常温と同様に完全弾塑性型の安定した履歴形状を示していることがわかる。摩擦荷重は、常温に対して低温では小さく、高温では大きくなっている。なお、低温に着目すると、1サイクル目より2サイクル目の荷重が大きく、常温に近づいている。これは、図 5 に示す様に、1サイクル目で吸収した摩擦熱の影響と考えられる。

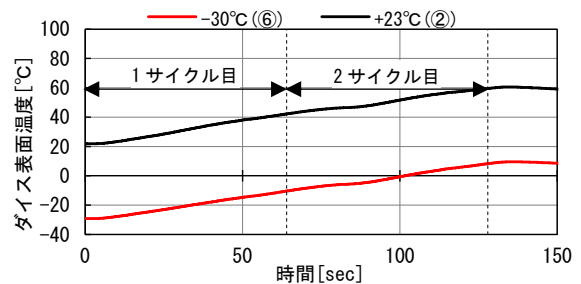


図 5 時刻歴波形(ダイス表面温度)

4.2 摩擦荷重と温度の相関

本実験で実施した全 21 パターンについて、摩擦荷重と温度の相関を図 6 に示す。縦軸は 2 サイクル目の平均摩擦荷重であり、常温時の荷重で除して、

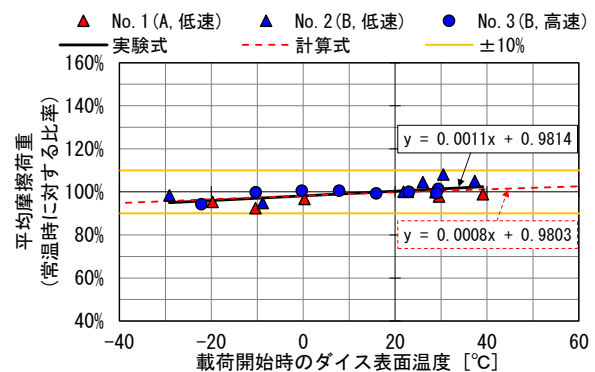


図 6 摩擦荷重と温度の相関関係

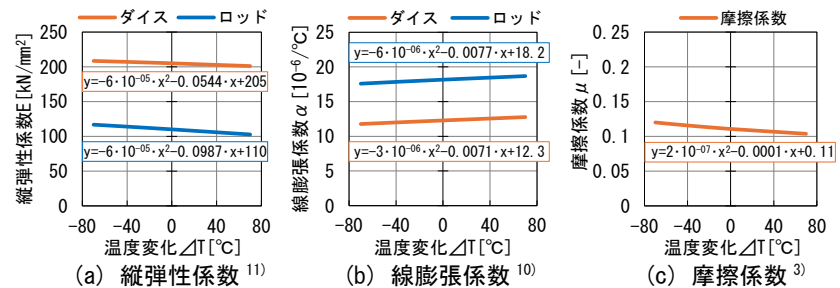


図 7 温度変化に伴う物性変化³⁾¹⁰⁾¹¹⁾

無次元化している。図より、摩擦ダンパーは、温度が低下するにつれて摩擦荷重が低下する温度依存性が認められる。しかし、常温(+23°C)から氷点下-30°Cまで温度を下げても摩擦荷重の変化は-10%以下であり、温度依存性の小さい優れた低温時性能を有することが確認された。

図6中の計算式(赤破線)は、摩擦ダンパーの温度依存性を推定したものである。ダイス(鋼材の環)とロッド(銅合金の芯棒)などの金属系材料の縦弾性係数や線膨張係数は、図7(a)(b)に示す様に、温度に応じて変化することが知られている^{10),11)}。また、二硫化モリブデン(固形潤滑剤)の摩擦係数^{9),12)}は温度変化に殆ど影響されないとされるが、固形潤滑剤を定着させたダイス・ロッド接触面の摩擦係数には面圧依存性³⁾があることがわかっており、温度変化に伴いダイス・ロッドの線膨張により面圧(=締付け力/接触面積)が変化するため、図7(c)に示す様に摩擦係数も間接的に温度変化に依存する。これらの知見を加味し、摩擦ダンパーの温度依存性を弾性理論解^{3),7)}に基づき推定した計算式(図6中の赤破線)は、実験式(最小二乗法による実験結果の近似式)と良く対応しており、摩擦ダンパーの温度依存性のメカニズムが、理論的に説明可能であることがわかった。

5. まとめ

本研究では、橋梁の耐震性向上技術に用いる摩擦ダンパーについて、低温時性能の確認を目的とした載荷実験を実施した。

その結果、摩擦ダンパーは、温度が低下するにつれて摩擦荷重が低下する温度依存性が認められたものの、常温(約+23°C)から氷点下-30°Cまで温度を下げても、摩擦荷重の変化は-10%以下であったことから、温度依存性の小さい優れた低温時性能を有していることが確認された。

また、摩擦ダンパーの温度依存性のメカニズムは、理論的に説明可能であることがわかった。

【参考文献】

- 1)波田雅也ほか：橋梁の耐震補強に用いるダイス・ロッド式摩擦ダンパーの開発，土木学会論文集 A1, Vol.75, No.2, pp.95-110, 2019.5
- 2)波田雅也ほか：摩擦ダンパーを用いた既設橋脚の地震時損傷制御技術の適用，土木学会インフラメンテナンス実践研究論文集，Vol.1, No.1, pp.261-268, 2022.3
- 3)上田英明ほか：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究，日本建築学会構造系論文集，Vol.88, No.810, pp.1273-1283, 2023.8
- 4)北海道土木技術会 鋼道路橋研究委員会：北海道における鋼道路橋の設計施工指針，2014.10
- 5)土木研究所：免震・制振デバイスの低温時性能評価に関する研究，土木研究所成果報告書，No.17, pp.1-6, 2014.3
- 6)宮森保紀ほか：橋梁耐震補強用ストッパーの寒冷地における特性の検討，土木学会地震工学論文集，pp.1244-1249, 2007.8
- 7)日本機械学会：機械工学便覧，丸善，1989
- 8)バウデン・テイバー：固体の摩擦と潤滑(曾田範宗訳)，丸善，1975.2
- 9)松永正久：固体潤滑ハンドブック，幸書房，1982
- 10)日本産業規格：JIS B8265:2017 (圧力容器の構造—一般事項)
- 11)日本伸銅協会：伸銅技術データベース，https://www.copper-brass.gr.jp/data/file/banjou/result/bjr00700_1.pdf
- 12)竹内栄一：二硫化モリブデン(MoS₂)の潤滑性について(2)，金属表面技術，Vol.11, No.2, pp.64-70, 1960

2. 設置後約 20 年が経過した外付け制震ブレース用「40tf 摩擦ダンパー」性能確認

A Study of Aging Effect on a 40tf class Friction Damper in Exterior Damping Brace
After about 20 years in Use

土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**

一概要一

筆者らは、「摩擦ダンパー (図 1)」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に設置することで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法 (以下、制震ブレース工法) を開発・実用化している。現在までに 100 棟以上の適用実績があり、累計約 4,100 基の摩擦ダンパーが使用されている。摩擦ダンパーの製品規格の中で最も適用実績が多いのは、規格荷重 392kN (40tf) のダンパー (以下、40tf ダンパー) であり、3,100 基以上が使用されている。

今回、2006 年に当社が制震ブレース工法による耐震補強工事を実施した RC 造 4 階建て中学校校舎 (第 1 期竣工: 1963 年) が、補強工事から 18 年を経て新校舎に建替えることとなり、設置していた 40tf ダンパーを回収し、経年変化を実物で評価できる貴重な機会を得た (写真 1~3)。

本報では、屋外に設置された状態で約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対して、まず設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を行い、摩擦荷重の経年変化を確認した。さらに、補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した 40tf ダンパーの応答変位波形を用いた非定常加振を行い、設計で想定したエネルギー吸収量が発揮されるかを確認した。

一技術的な特長一

設置して約 20 年が経過しても、40tf ダンパーの履歴形状は設置前とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示した (図 2)。また、非定常加振時も安定した完全弾塑性型の履歴形状を示し、エネルギー吸収量は補強設計時の解析結果を約 1.5 倍上回った (図 3)。約 20 年後の摩擦荷重は、設置前に比べて ±7% 未満の変化であり、経年変化は非常に小さいことが分かった (図 4)。

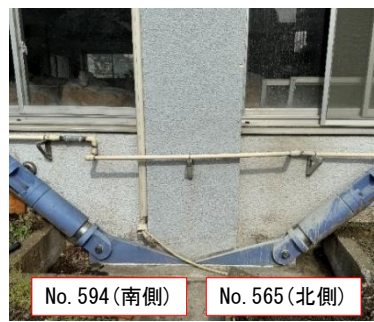
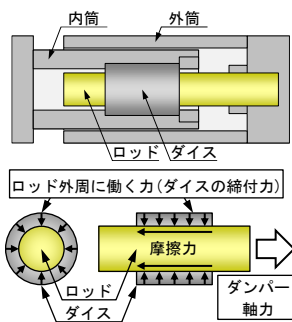


図 1 摩擦ダンパーの機構

写真 1 解体対象の制震ブレース

写真 2 回収した 40tf ダンパー

写真 3 試験状況

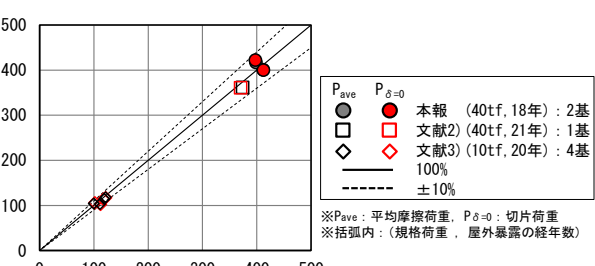
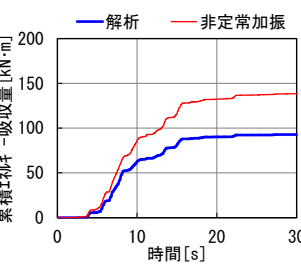
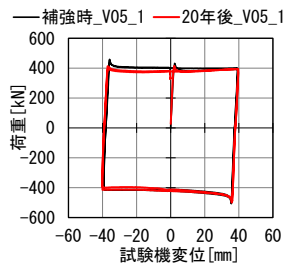


図 2 荷重 - 変位関係 (性能確認試験)

図 3 累積エネルギー吸収量 (非定常加振, 0~30s 拡大)

図 4 設置前と約 20 年後の摩擦荷重の比較 (V05_1)

※本報の一部は、日本建築学会大会学術講演概要集 (構造 II, pp.683-684, 2025.07) で発表済みである。

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長

設置後約 20 年が経過した外付け制震ブレース用「40tf 摩擦ダンパー」性能確認 A Study of Aging Effect on a 40tf class Friction Damper in Exterior Damping Brace After about 20 years in Use

○土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Hideaki AGETA

ABSTRACT The authors have commercialized a reinforcement method that improves the seismic performance of existing buildings by installing damping braces incorporating friction dampers on the exterior walls of the buildings. In this paper, we conducted a performance verification test on a 40tf friction damper that had been installed outdoors for approximately 20 years, under the same conditions as the acceptance test before installation, to confirm the change in friction load over time. Even after approximately 20 years of installation, the friction load of the 40tf damper changed by less than $\pm 7\%$ compared to before installation, indicating that the change over time was small.

Keywords :摩擦ダンパー, 経年特性, 制震補強, 外付け補強, 制震ブレース
Friction Damper, Aging Effect, Response Control Retrofit, Exterior Retrofit, Damping Brace

1. はじめに

筆者らは、「摩擦ダンパー」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に取り付けることで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法（以下、制震ブレース工法）を開発・実用化している^{1),2)}。摩擦ダンパーは、ダイス（鋼材の環）の内径より少し太いロッド（銅合金の芯棒）をダイスにはめ込み、ダイスとロッドの摩擦面に一定の締付力が生じる仕組みを利用したダンパーである（図 1）。一定の摩擦荷重を保持しつつ摺動し、エネルギー吸収効率の高い完全弾塑性型の履歴特性を発揮する。既報³⁾では、実建物に初めて設置した規格荷重 98kN(10tf)の摩擦ダンパーについて、経年特性を確認するために性能確認試験を行った。その結果、設置後 20 年が経過しても摩擦荷重の変化は約 3%と非常に小さかったことが示されている。今回は、屋外に設置されて約 20 年が経過した規格荷重 392kN(40tf)の摩擦ダ

ンパー（以下、40tf ダンパー）を建物解体に伴い回収し、経年特性を確認できる機会を得た。なお、40tf ダンパーは、製品規格(10tf, 20tf, 30tf, 40tf, 60tf)のなかで最も適用実績が多く、累計 3,100 基以上が補強工事に適用されている。

本報では、設置後約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対して、まず設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を行い、摩擦荷重の経年変化を確認する。さらに、補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した 40tf ダンパーの応答波形を用いて非定常加振を行い、設計で想定したエネルギー吸収性能が発揮されるかを確認する。

2. 補強建物と 40tf ダンパーの概要

2.1 補強建物の概要

補強建物は、都内に立地する公立中学校の地上 4 階、塔屋 1 階建ての鉄筋コンクリート造校舎である。補強建物は 1963 年の第 1 期竣工から 1976 年にかけて、計 4 回の増築工事が行われた。さらに 2006 年 8 月には、校舎全体に対して制震ブレース工法による補強工事が行われ、躯体の外壁面に計 60 本（東面:19 本、西:15、南:16、北:10）の

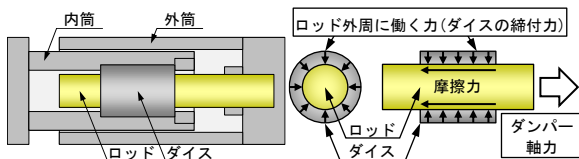


図 1 摩擦ダンパーの機構

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長
※本報の一部は、日本建築学会大会学術講演梗概集（構造Ⅱ, pp.683-684, 2025.07）で発表済みである。

40tf ダンパー付き制震ブレースが設置された(写真 1)。補強工事から 18 年を経て新校舎に建替えることとなり、2024 年 4 月から旧校舎(補強建物)の解体工事が段階的に始まった(図 2, 3)。適用実績が最も多い 40tf ダンパーの経年特性を確認できる貴重な機会であるため、解体対象となった箇所から 40tf ダンパー 2 基を回収した(写真 2, 3)。

2.2 40tf ダンパーの概要

回収した 40tf ダンパー 2 基(製造番号:No.565, No.594)の規格は、設定摩擦荷重:392kN(40tf)、許容ストローク:±40mm(限界ストローク:±55mm)である。いずれも補強工事の制震ブレース設置前に受入試験を行い、設計で想定した性能を有することを確認している。

なお、回収した 40tf ダンパーは、塗装の塗り替えを除くメンテナンスは施されておらず、約 20 年間に渡って屋外に暴露された状態であった。



写真 1 補強建物外観



図 2 補強建物配置図



写真 2 回収前の設置状況

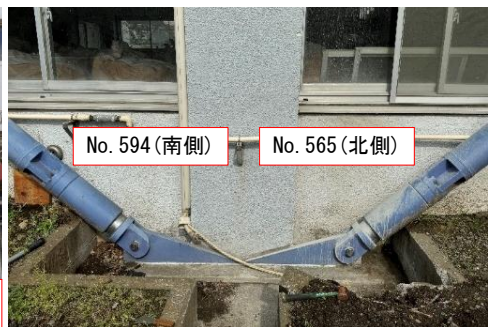


写真 3 回収した 40tf ダンパー



図 3 補強建物の東立面図

3. 性能確認試験

3.1 試験方法

40tf ダンパーの経年変化を確認するために、No.565 に対し、設置前の受入試験と同じ条件で性能確認試験を実施した。性能確認試験の試験条件を表 1 に、試験状況を写真 4 に示す。試験方法は、動的アクチュエータを用いて、ダンパー軸方向に変位制御で加振する。入力波形は速度一定の三角波とし、低速加振 1 回目(V05_1)、高速加振(V70)、低速加振 2 回目(V05_2)の順で計 3 回の加振を行う。なお、摩擦熱の影響を排除するため、加振毎に 15 分のインターバルを設けている。

確認項目は、履歴形状と摩擦荷重(平均摩擦荷重 P_{ave} 、切片荷重 $P_{\delta=0}$)²⁾とする。

3.2 試験結果

荷重-変位関係を設置前の受入試験結果と合わせて図 4 に示す。図より、設置前と約 20 年後を比較すると、荷重-変位関係の履歴形状がほぼ一致していることが確認できる。また、高速加振時も完全弾塑性型の履歴形状を示し、さらに高速後の低速加振 2 回目も、1 回目と変わらない性能を発揮していることがわかる。

表1 性能確認試験の試験条件 (No. 565)

加振名	加振条件・確認事項	
1 低速1 (V05_1)	加振条件	振幅±40mm, 速度0.5cm/sec一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	許容ストローク内における履歴形状および摩擦荷重 (P_{ave} , $P_{\delta=0}$) を確認
2 高速 (V70)	加振条件	振幅±40mm, 速度7.0cm/sec一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	地震時に想定されるエネルギー吸収量を三角波で再現した加振時における履歴形状および摩擦荷重を確認
3 低速2 (V05_2)	加振条件	低速1 (V05_1) と共通
	確認事項	高速加振 (V70) 後に再度, 履歴形状および摩擦荷重を確認

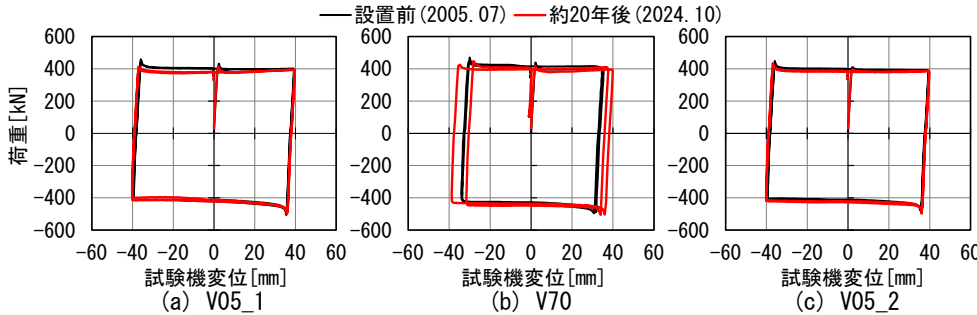


図4 荷重-変位関係 (性能確認試験)



写真4 試験状況

4. 非定常加振

4.1 試験方法

補強建物が設計で想定した強震を受けた時の40tfダンパーの「初動」を確認するため、No.594に対し、前章と同じ動的アクチュエータを用いて非定常加振を行った。試験条件を表2に示す。非定常加振の入力波形は、補強設計時の時刻歴応答解析にて最大応答値を示した結果(取付諸元: 図5, 解析波形: TAFT 1952 EW, 最大速度を50cm/sに基準化)から抽出した40tfダンパーの応答変位波形とした。補強建物の応答値は、最大応答層間変形角: 1/254rad(2階)、最大層間変位: 13.8mm、ブレース接点間変位(40tfダンパーの必要最小ストローク): 10.9mmであり、許容ストローク±40mmに対して十分に余裕がある。

表2 非定常加振の試験条件 (No. 594)

加振名	加振条件・確認事項	
1 非定常加振	加振条件	補強設計時の時刻歴応答解析結果から抽出した40tfダンパーの時刻歴応答変位波形 継続時間: 50.0s, 最大変位: 10.2mm, 最大速度: 13.9cm/s
	確認事項	補強建物が設計で想定した強震を受けた時の「初動」を確認
2 低速1 (V05_1)	加振条件	振幅±40mm, 速度0.5cm/s一定, 2サイクルの三角波
	確認事項	非定常加振後の履歴形状と摩擦荷重を確認

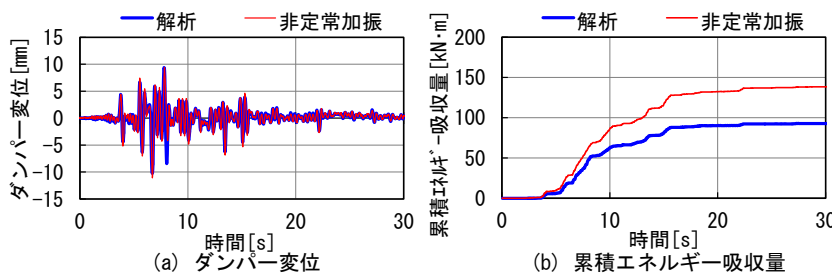


図6 時刻歴波形 (非定常加振, 0~30s 拡大)

また、非定常加振後に低速1(V05_1)の三角波を加振し、設置前の受入試験結果と比較する。

4.2 非定常加振結果

時刻歴波形を図6に、荷重-変位関係を図7に、それぞれ解析結果と比較して示す。図より、40tfダンパーは、非定常加振時にも安定した完全弾塑性型の履歴を示していることがわかる。また、非定常加振による累積エネルギー吸収量は解析結果を約1.5倍上回った。

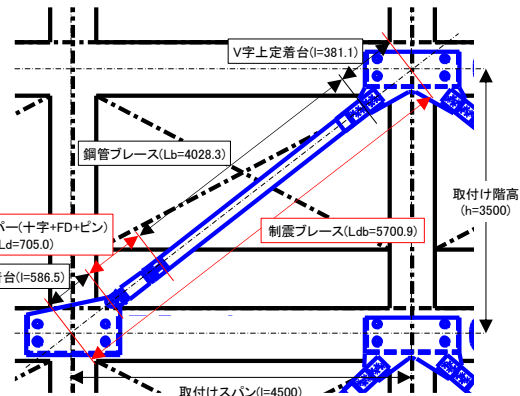


図5 取付諸元

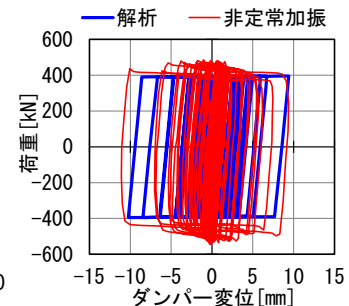


図7 荷重-変位関係 (非定常加振)

4.3 非定常加振後の低速加振結果

荷重-変位関係を設置前の受入試験結果と比較して図 8 に示す。図より、設置して約 20 年後の初動として非定常加振を行った後も、履歴形状が設置前と殆ど変わっていないことがわかる。

5. 設置前と約 20 年後の摩擦荷重の比較

低速 1(V05_1)の結果を用いて、設置前と約 20 年後の摩擦荷重の関係を図 9 に示す。図中には既報 2),3)で示した結果も併せてプロットしている。設置前に対する約 20 年後の摩擦荷重の比率は、平均摩擦荷重 P_{ave} が 97.4%~104.8%、切片荷重 $P_{\delta=0}$ が 97.2%~106.4%の範囲であり、摩擦荷重の経年変化は±7%未満と非常に小さいことがわかった。

6. 試験後の分解状況と暴露試験

No.594 を分解して内部の状況を確認した結果、ダイスとロッドに錆の発生や変色は見られず、ダンパー内部に水分が浸入した形跡もなかった(写真 5)。また、No.594 は再度組み立て、分解していない No.564 とともに、茨城県つくば市内の屋外で暴露試験を開始した(写真 6)。その後の経年変化は、稿を改め報告したい。

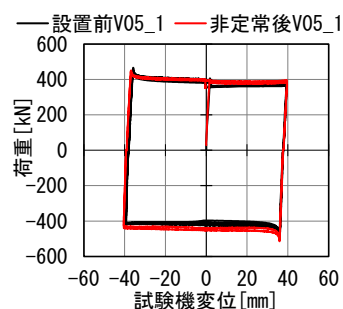


図 8 荷重-変位関係 (非定常加振後の低速加振)



写真 6 暴露状況 (2024. 12 開始)



写真 5 回収した 40tf ダンパーの分解状況 (No. 594)

7. まとめ

設置して約 20 年が経過した 40tf ダンパーに対し、設置前の受入試験と同じ条件の性能確認試験および非定常加振を実施した。得られた知見を以下に示す。

- ・約 20 年後の履歴形状は設置前とほぼ一致し、安定した完全弾塑性型の履歴を示した。
- ・非定常加振時も安定した完全弾塑性型の履歴を示し、エネルギー吸収量は補強設計時の解析結果を上回った。
- ・約 20 年後の摩擦荷重は、設置前に比べて±7%未満の変化であり、経年変化が非常に小さいことがわかった。

【参考文献】

- 1)北嶋圭二：外付け制震ブレースを用いた耐震補強工法と実施例、建築技術、No.652、pp.160-165、2004.5
- 2)上田、北嶋ほか：既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究、日本建築学会構造系論文集、第 88 巻、第 810 号、pp.1273-1283、2023.8
- 3)上田、北嶋ほか：設置後 20 年が経過した外付け制震ブレースの「摩擦ダンパー」性能確認試験、日本建築学会大会、pp.893-894、2019.9

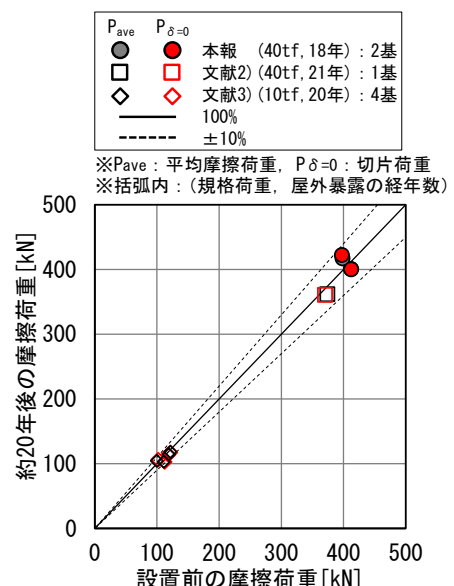


図 9 設置前と約 20 年後の摩擦荷重の比較

3. 新築建築物への適用を想定した 1600kN 級四連型大容量摩擦ダンパーの開発

Development of a 1600kN class Quadruple-type Large-capacity Friction Damper for Application to New Buildings

土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**

—概要—

筆者らは、「摩擦ダンパー（図 1）」を組込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に設置することで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法（以下、制震ブレース工法）を開発・実用化している。制震ブレース工法に用いる摩擦ダンパーの規格荷重は 100～600kN であり、許容ストロークは ±40mm である。制震ブレース工法を新築建築物に適用する場合、特に制震構造を採用することが多い高層・超高層建築物の新築建築物に適用する為には、耐震補強対象建物と比較して建物規模が大きい、設置個所がコア周り等に限定される等の条件により、摩擦ダンパーの大容量化・長ストローク化を図る必要があった。

—技術的な特長—

摩擦ダンパーの要であるダイス・ロッドで構成されるリング機構を 4 基並列に配置することで、摩擦荷重の大容量化を実現する四連型大容量摩擦ダンパー（以下、大容量摩擦ダンパー）を考案した（写真 1）。大容量摩擦ダンパーを組込んだブレースの取付けは、一般的な鉄骨ブレース材と同様の方法で可能である（図 2）。本研究では、大容量摩擦ダンパーの基本的な性能を確認することを目的として、設定摩擦荷重 1600kN、許容ストローク ±75mm の実機を用いた性能確認試験を実施した。

試験の結果、大容量摩擦ダンパーの摩擦荷重は、ダイス・ロッド 4 基の荷重を累加した値であること、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示すことを確認した（図 3）。

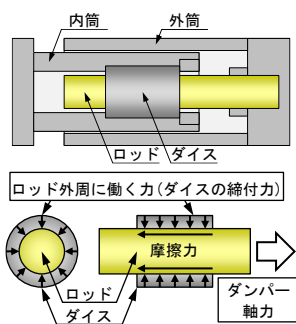


図 1 摩擦ダンパーの機構

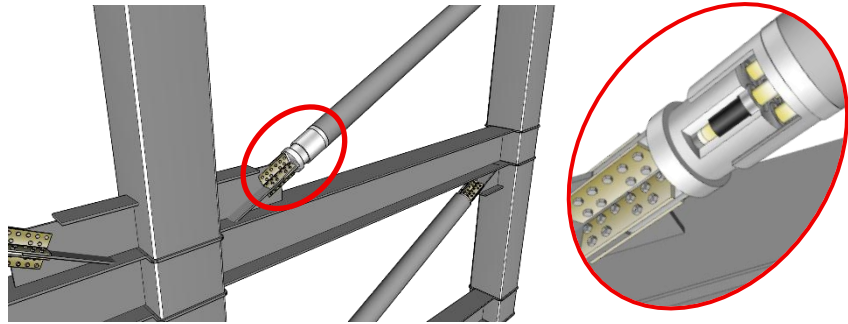


図 2 大容量摩擦ダンパーの設置イメージと拡大パース

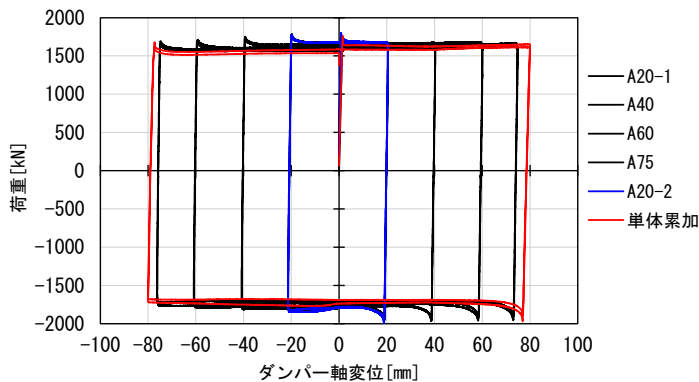


図 3 荷重－変位関係



写真 1 ダンパー部の拡大

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長

新築建築物への適用を想定した 1600kN 級四連型大容量摩擦ダンパーの開発 Development of a 1600kN class Quadruple-type Large-capacity Friction Damper for Application to New Buildings

○土田 堯章* 波田 雅也* 上田 英明**
Takaaki TSUCHIDA Masaya HADA Hideaki AGETA

ABSTRACT The authors have commercialized a "Damping Brace Method" that uses damping braces with built-in friction dampers to improve the seismic performance of buildings. In order to apply the damping brace method to newly constructed buildings, it was necessary to increase the capacity and stroke of the friction dampers. Therefore, we devised a "quadruple-type large-capacity friction damper" that arranges four ring mechanisms consisting of die rods in parallel to achieve a large capacity of friction load. Performance verification tests confirmed that the large-capacity friction damper exhibited stable performance.

Keywords : 摩擦ダンパー, 制震ブレース, 新築建築物, 制震構造
Friction Damper, Damping Brace, Newly Constructed Buildings, Seismic Response Control

1. はじめに

筆者らは、「摩擦ダンパー」を組み込んだ制震ブレースを既存建物の外壁面に取り付けることで、建物を使用しながら耐震性能を向上させる補強工法を開発・実用化している^{1),2)}(写真 1)。摩擦ダンパーは、ダイス(鋼材の環)の内径より少し太いロッド(銅合金の芯棒)をダイスにはめ込み、ダイスとロッドの摩擦面に一定の締付力が生じる仕組みを利用したダンパーであり(図 1)、一定の摩擦荷重を保持しつつ摺動し、エネルギー吸収効率の高い完全弾塑性型の履歴特性を発揮する。

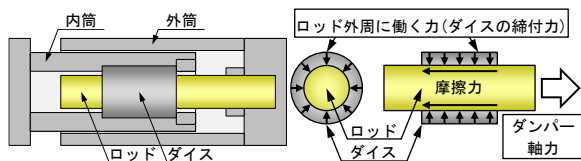


図 1 摩擦ダンパーの機構

耐震補強工法に用いる摩擦ダンパーの規格荷重は 100~600kN であり、許容ストロークは ±40mm である。この摩擦ダンパーを新築建築物に適用する場合、特に制震構造を採用することが多い高層・超高層建築物に適用する為には、耐震補強対象建物と比較して建物規模が大きい、設置個所がコア周りに限定される等の条件により、摩擦ダンパーの大容量化・長ストローク化を図る必要があった。

そこで、ダイス・ロッド 4 基を並列に束ねて一体化することで、摩擦荷重の大容量化を実現する四連型大容量摩擦ダンパー(以下、大容量摩擦ダンパー)を考案した(写真 2)。本研究では、大容量摩擦ダンパーの基本性能の確認を目的として、設定摩擦荷重 1600kN、許容ストローク ±75mm の実機を用いた性能確認試験を実施した。



(a) 建物全景 (b) 制震ブレース
写真 1 制震ブレース工法適用事例



写真 2 大容量摩擦ダンパー
(ダンパー部拡大)

*技術研究所 構造研究部 **技術研究所 副所長

2. 四連型大容量摩擦ダンパー

2.1 概要

大容量摩擦ダンパーの構成要素(写真 3)は、これまで耐震補強工法に用いてきた摩擦ダンパーと同一であるが、4 基のダイスを並列に配置し固定できるよう、内筒に蓮根状の孔部を設けている。

大容量摩擦ダンパー試験体の諸元を表 1 に示す。設定摩擦荷重は 1600kN (400kN 用ダイス・ロッド 4 基)とし、軸剛性の値は耐震補強工法用の 400kN 摩擦ダンパーの軸剛性値の 4 倍とした。ダンパー部長さは 579mm であり、許容ストロークは次節で述べる想定架構を基に設定している。

2.2 想定架構

大容量摩擦ダンパーを組込んだ制震ブレースのイメージパスを図 2 に示す。一般的な鉄骨造建物を想定した階高 4m×スパン 6.4m のフレームに、制震ブレースを片掛け(図 3(a))または K 型(図 3(b))に配置する。架構の諸元を表 2 に示す。

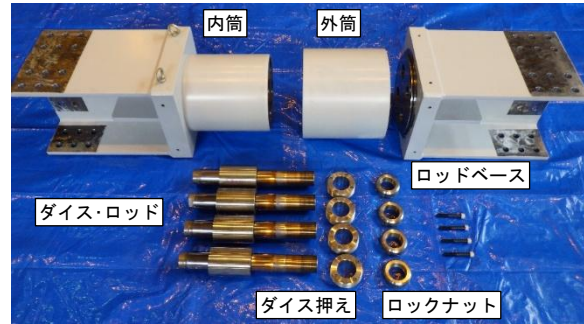


写真 3 大容量摩擦ダンパーの構成要素

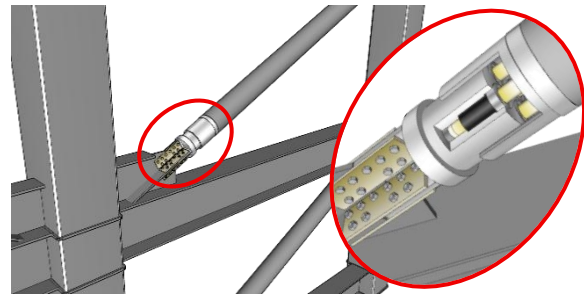


図 2 設置イメージパス

表 1 大容量摩擦ダンパーの諸元

設定摩擦荷重 [kN]	軸剛性 [kN/mm]	ダンパー部長さ [mm]	許容ストローク [mm]	限界ストローク [mm]
1600	2468	579	75	80

表 2 想定架構の諸元

		摩擦ダンパー制震ブレース (片掛け)	摩擦ダンパー制震ブレース (K型)	
ブレース架構	階高	mm	4000	
	ブレース取付けスパン	mm	6400	
	ブレース節点間	mm	7547	
	ダンパー部長さ	mm	579	
	ダンパー部長さ比	-	0.08	
	パネル部長さ	mm	755	
	弾性部長さ	mm	6213	
弾性部の諸元 (鋼管ブレース)	取付角	rad	0.848	
	材質	-	STKN490	
	板厚	mm	16.0	
	幅(径)	mm	355.6	
	降伏点	N/mm ²	325	
	弾性部断面積	mm ²	17070	
	ダンパー振動開始時	振動開始摩擦荷重(1本あたり)	kN	1600
水平力(1セット)		kN	1357	
ダンパー部		ダンパー剛性	kN/mm	2468
		ダンパー変位	mm	0.65
弾性部		弾性部剛性	kN/mm	563
		弾性部変位	mm	2.84
ブレース節点間		ブレース剛性	kN/mm	459
		ブレース変位	mm	3.49
		層間変位	mm	4.11
目標変形時		層間変形角	rad	1/972
	ダンパー変位/ブレース変位	-	0.19	
目標変形時	ブレース変位	層間変形角	rad	0.020
		層間変位	mm	1/50
	軸力	ブレース変位	mm	80
		荷重上昇率	-	67.8
	変位内訳	最大軸力	kN	50.0
		ダンパー変位	mm	1.000
	塑性率	弾性部変位	mm	1600
		ブレース	-	65.0
	歪換算	ダンパー部	-	48.1
		ブレース	-	2.8
歪換算	ダンパー部	-	19.4	
	ブレース	-	20.1	
歪換算	ダンパー部	-	100.3	
	ブレース	-	74.2	
歪換算	ダンパー部	-	0.90%	
	ブレース	-	0.98%	

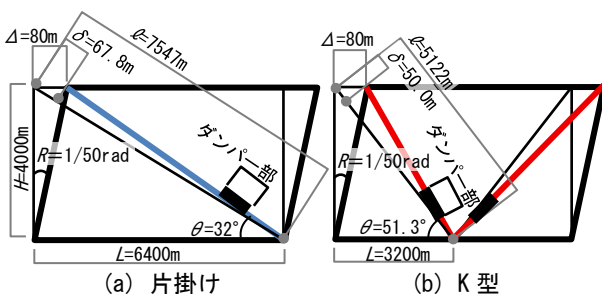


図 3 想定架構

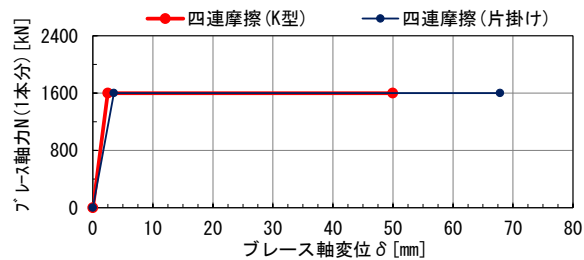


図 4 軸力-軸変位関係 (制震ブレース 1 本あたり)

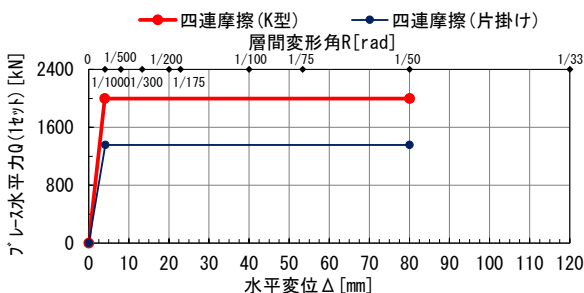


図 5 水平力-水平変位関係 (制震ブレース 1 セット)

目標変形時(層間変形角 1/50rad)、ブレース接点間変位は 67.8mm(片掛け)となるため、試験体の許容ストロークは±75mm(限界ストローク±80mm)とした。ダンパー部の摩擦荷重と剛性を設計値とした時の、制震ブレース 1 本当たりの軸力-軸変位関係を図 4 に、制震ブレース 1 セット当たりの水平力-水平変位関係を図 5 に示す。

3. 実験方法

3.1 ダイス・ロッド単体の荷重 (事前確認)

大容量摩擦ダンパー試験体に用いるダイス・ロッド 4 基の荷重確認結果を表 3 に、荷重-変位関係を図 6 に示す。入力波形は、速度一定(0.1cm/s)の三角波、振幅:±80mm、繰返し数は 2 回とした。図より、いずれダイス・ロッドも完全弾塑性型の履歴形状を示していることがわかる。

3.2 大容量摩擦ダンパー試験体

前節のダイス・ロッド 4 基を用いて大容量摩擦ダンパー試験体を製作した。なお、試験装置への接続の都合上、接続部材には H 形鋼を用いているが、通常採用されることが多い円形鋼管(十字型接続部)も問題無く使用可能である。また、ダンパー内部の状況を確認する為、外筒を外した状態で試験を実施した。

3.3 加振条件

試験状況を写真 4 に示す。当社保有の試験装置に縦置きで設置し、アクチュエータを用いて、ダンパー軸方向に準静的な加振実験を実施した。加振ケースを表 4 に、入力波形を図 7 に示す。入力波形は、速度一定(0.1cm/s)の三角波、繰返し数は 2 回とした。計測項目は、荷重とダンパー部の軸変位である。

表 3 荷重確認結果一覧(ダイス・ロッド単体)

ダイス・ロッド	サイクル	エネルギー吸収量 [kJ・mm]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]		最大荷重 [kN]	
				引張	圧縮	引張	圧縮
DR1	1	126503.2	400.5	-417.9	438.0	-491.8	491.8
	2	123193.7	390.5	385.0	-404.6	393.7	-476.7
DR2	1	133176.2	422.5	-439.2	436.2	-499.0	499.0
	2	128763.3	407.9	397.9	-424.6	420.9	-484.4
DR3	1	134905.9	427.8	-448.0	444.9	-499.3	499.3
	2	131159.9	415.8	406.3	-434.8	421.1	-498.6
DR4	1	132118.0	419.2	-431.6	442.4	-499.1	499.1
	2	129573.2	410.8	396.3	-425.3	424.4	-488.5

4. 実験結果

4.1 荷重-変位関係

荷重-変位関係を図 8 に、結果一覧を表 5 に示す。図表より、加振振幅によらず、摩擦荷重はダイス・ロッド 4 基の荷重を累加した値と概ね同じであり、安定した完全弾塑性型の履歴形状を示している。軸剛性も設計値よりも大きい値を示した。

4.2 平均累積塑性変形倍率

軸力、ダンパー部軸変位、累積エネルギー吸収量の推移を図 9 に、実験値を用いて算出した平均累積塑性変形倍率⁴⁾を表 6 に示す。累積変位量が 1,750mm に達しても、履歴特性や摩擦荷重に大きな変化は無いことがわかる。また、K 型配置(図 3(b))を想定し、表 2 で示した弾性部を連結した制震ブレース全体の軸力-変位関係を図 10 に、塑性率と平均累積塑性変形倍率を表 7 に示す。図表より、制震ブレース全体で評価しても優れたエネルギー吸収性能を有していることがわかる。

4.3 等価減衰定数

加振ケース毎の 2 サイクル目の結果から算出した等価減衰定数 h_{eq} ⁵⁾を表 8 に示す。大容量摩擦ダンパーの等価粘性減衰定数 h_{eq} は、振幅によ

表 4 加振ケース一覧

No.	加振ケース	振幅A [mm]	周期 [s]
1	A20-1	20	80
2	A40	40	160
3	A60	60	240
4	A75	75	300
5	A20-2	20	80

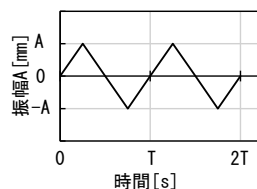


図 7 入力波形

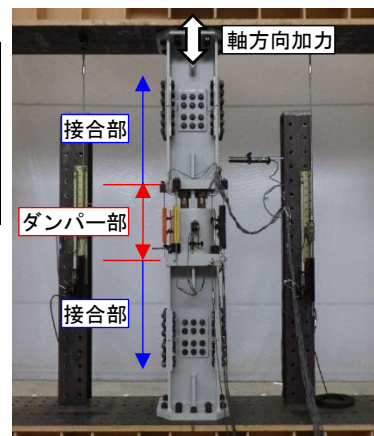


写真 4 大容量摩擦ダンパー試験状況

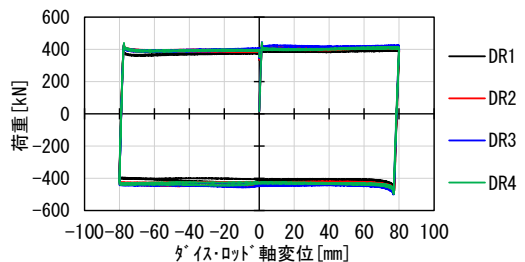


図 6 荷重-変位関係(荷重確認)

らず 0.63 前後の高い値であり、剛塑性に近い優れたエネルギー吸収性能を有していることがわかる。また、繰返し加振しても h_{eq} が殆ど変化していないことがわかる。

5. まとめ

本研究では、新築建築物への適用を想定し考案した、大容量摩擦ダンパーの概要と基本性能を確認した実験について示した。試験の結果、大容量摩擦ダンパーの摩擦荷重はダイス・ロッド 4 基の荷重を累加した値になること、加振振幅によらず安定した完全弾塑性型の履歴形状を示すこと、高いエネルギー吸収能力を有することを確認した。

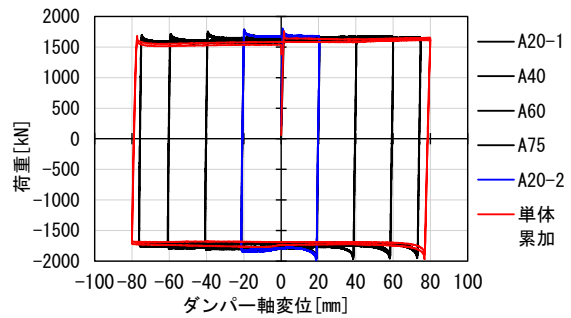


図 8 荷重-変位関係

表 5 試験結果一覧

加振ケース	サイクル	最大変位 [mm]		エネルギー吸収量 [kN・mm]	平均摩擦荷重 [kN]	切片荷重 [kN]		最大荷重 [kN]		軸剛性 [kN/mm]
		引張	圧縮			引張	圧縮	引張	圧縮	
A20-1	1	20.5	-21.3	141351.3	1737.0					3158.4
	2	20.5	-21.4	141394.4	1735.2	1671.6	-1796.1	1780.5	-1949.1	
A40	1	40.3	-40.8	275761.0	1725.2					3281.6
	2	40.3	-40.8	273581.7	1709.8	1657.2	-1771.5	1751.7	-1964.1	
A60	1	60.0	-60.7	407530.5	1704.0					3457.7
	2	60.1	-60.8	399519.0	1666.5	1620.3	-1724.4	1716.0	-1950.6	
A75	1	74.7	-76.1	504830.5	1685.9					3309.3
	2	74.8	-76.3	493321.2	1645.0	1600.8	-1698.9	1721.1	-1944.6	
A20-2	1	20.5	-21.4	141965.3	1746.8					3119.6
	2	20.5	-21.4	141514.3	1740.1	1674.3	-1791.3	1780.5	-1949.1	

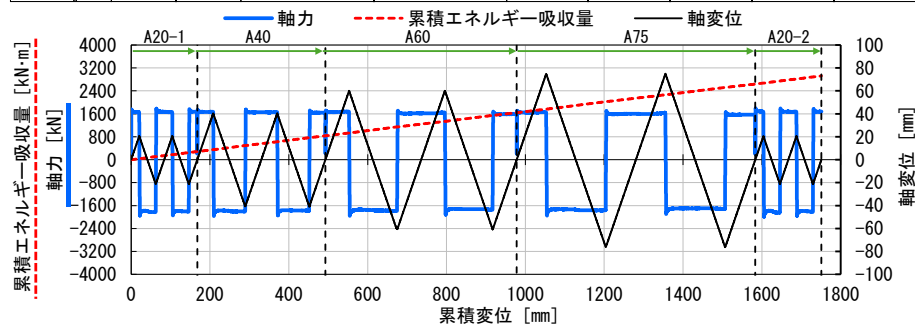


図 9 軸力、軸変位、累積エネルギー吸収量の推移

表 6 大容量摩擦ダンパー単体の塑性率と平均累積塑性変形倍率

摺動開始時 軸力 [kN]	変位 [mm]	軸剛性 [kN/mm]	最大軸力		軸力 上昇	最大変位		塑性率	ひずみ 換算 [%]	累積 変位 [mm]	累積エネルギー 吸収量 [kN・mm]	平均累積 塑性変形 倍率 [-]
			引張 [kN]	圧縮 [kN]		引張 [mm]	圧縮 [mm]					
1740	0.56	3120	1797	-1989	1.14	75	-76	136.7	13.2%	1751	2921	1504

表 7 制震ブレース全体の塑性率と平均累積塑性変形倍率

摺動開始時変位 [mm]	最大変位 [mm]				塑性率		平均累積塑性変形倍率				
	ダンパー 全体	全体/ ダンパー	ダンパー 全体	全体/ ダンパー	ダンパー	全体/ ダンパー	ダンパー	全体	全体/ ダンパー		
0.56	2.56	4.59	76.3	78.5	1.03	136.7	30.6	0.22	1504	327	0.22

【参考文献】

- 1)北嶋圭二:外付け制震ブレースを用いた耐震補強工法と実施例, 建築技術, No.652, pp.160-165, 2004.5
- 2)上田、北嶋ほか:既存鉄筋コンクリート造建物の耐震補強に用いるリング機構式摩擦ダンパーに関する研究,日本建築学会構造系論文集, 第 88 巻, 第 810 号, pp.1273-1283, 2023.8
- 3)上田、北嶋ほか:400kN 摩擦ダンパー並列配置による大容量制震ブレースの開発(その 1, 2),日本建築学会大会, pp.533-536, 2008.9
- 4)建築研究所監修:鋼構造建築物へのエネルギー法活用マニュアル, 技法堂出版, 2009
- 5)柴田明德:最新耐震構造解析(第 3 版・補訂版), 森北出版, 2021

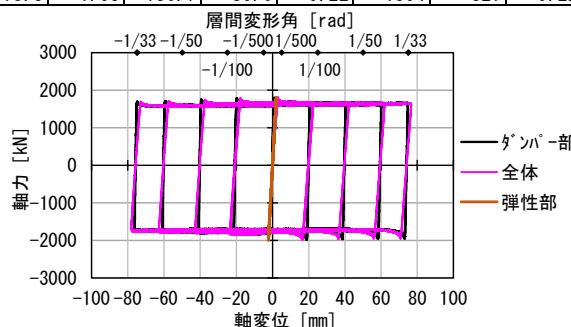


図 10 制震ブレース全体の荷重-変位関係

表 8 等価減衰定数一覧

加振ケース	最大変位 [mm]		累積変位 [mm]	等価剛性 [kN/mm]	エネルギー吸収量 [kN・mm]	ポテンシャルエネルギー [kN・mm]	等価減衰定数 h_{eq} [-]
引張	圧縮						
A20-1	20.5	-21.4	168	81.4	141394	17855	0.630
A40	40.3	-40.8	493	42.0	273582	34575	0.630
A60	60.1	-60.8	978	27.7	399519	50627	0.628
A75	74.8	-76.3	1583	21.9	493321	62496	0.628
A20-2	20.5	-21.4	1751	82.3	141514	18046	0.624

4. 撥水剤添加コンクリートにおける2次製品に関する検討

Study on Precast Concrete Products Made with Water-Repellent-Admixed Concrete

岡流聖* 谷口克彦*

—概要—

本報告では、2次製品を想定したコンクリートに撥水剤をセメント質量比0.5%で添加し、撥水剤添加コンクリートの圧縮強度、耐凍害性、透水抑制性能および製品としての曲げひび割れ耐力について検討した結果を報告する。撥水剤無添加コンクリートと比較して、撥水剤添加コンクリートの圧縮強度は同程度であり、顕著な強度低下は認められなかった(図1)。また、凍結融解試験では300サイクル時点で相対動弾性係数が約85%となり、評価指標である60%以上を維持することを確認した(図2)。透水性に関しては、室内供試体の透水試験において打設面から深さ55mmまでの各試験面で透水量の抑制率が概ね50%以上となり、表層だけでなく内部においても透水抑制効果が確認された(図3)。さらに、試作U字溝のWAPP透水試験においても、撥水剤添加により透水抑制効果が確認された(図4)。曲げひび割れ耐力試験では撥水剤の有無にかかわらず各試作製品が規定荷重を満足し、性能低下は認められなかった。

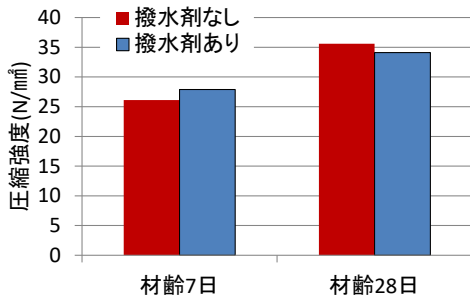


図1 圧縮強度試験結果

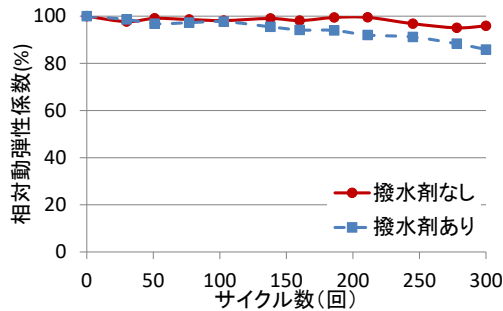


図2 凍結融解試験結果

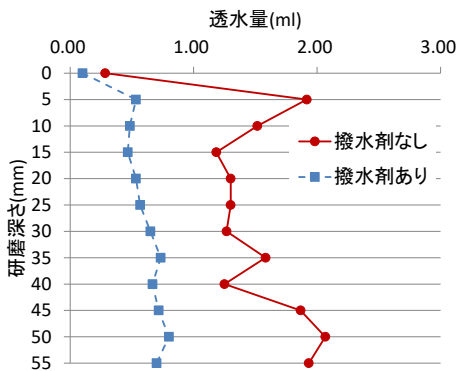


図3 透水試験結果

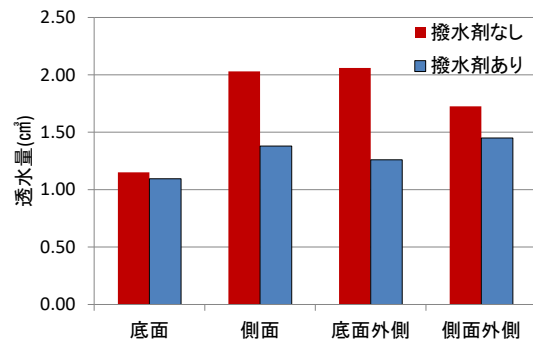


図4 WAPP 透水試験結果

—技術的な特長—

今回使用した撥水剤は、コアシェルカプセル化技術を適用した特殊な撥水剤である。この技術は、撥水成分を被覆材により包み込むことで、練混ぜ直後における撥水作用の急激な発現を抑制し、セメントの水和反応への影響を低減するとともに、硬化後のコンクリート内部において吸水防止性能を発現させるものである。このような撥水剤を練り混ぜ時に添加することで、コンクリート内部にも吸水防止性能を付与したものが撥水剤添加コンクリートである。本研究では、2次製品コンクリート配合で試験体を作製し、各種試験を実施した。

※本研究は、青木あすなろ建設(株)とインフラテック(株)との共同研究成果の一部である。

本報の一部は、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会(V-416, 2025.08)で発表済みである。

*技術研究所 材料研究部

撥水剤添加コンクリートにおける 2 次製品に関する検討 Study on Precast Concrete Products Made with Water-Repellent-Admixed Concrete

○岡 流聖*
Ryusei OKA

谷口 克彦*
Katsuhiko TANIGUCHI

ABSTRACT This study evaluated concrete for secondary products with a water-repellent agent added at 0.5% by cement mass. Compared with the control, no significant differences were observed in compressive strength, while freeze–thaw resistance remained acceptable (relative dynamic modulus 85% after 300 cycles, above the 60% criterion). Water penetration was reduced by 50% down to 55 mm from the casting surface, and tests on a prototype U-shaped channel confirmed improved water resistance without reducing the specified flexural cracking load capacity.

Keywords : 撥水剤添加コンクリート, 透水性能, 2 次製品

Water-Repellent-Admixed Concrete, Water permeability performance, precast concrete products

1. はじめに

撥水剤添加コンクリートとは、コンクリートの練り混ぜ時に撥水剤を添加することで、コンクリート表面のみならず、内部まで疎水化させ、吸水防止性能を付与するものである。表面含浸工法などで形成した吸水防止層を超えてひび割れがコンクリート内部に進展しても、内部でも吸水防止性能を有することで、コンクリートの耐久性を維持することを目的としている。また、撥水剤をコンクリートに練り混ぜることにより、表面含浸工法で懸念される作業員の技量による塗りむらや、雨天時に塗布作業ができない点を解決することが可能である。ここでは、2 次製品コンクリート配合での試験練り結果と、その配合で試作した U 字溝を用いた透水抑制機能の結果について述べる。また、製品として JIS 規格を満たすかどうか確認するため

に実施した曲げひび割れ耐力試験の結果についても報告する。

2. 試験概要

2.1 供試体概要

本報告では、試験練り・透水抑制機能評価（室内供試体および U 字溝）と、曲げひび割れ耐力試験（製品）でコンクリートの配合・使用材料・

表 1 使用材料

記号	材料	銘柄	密度 (g/cm ³)
W	水	地下水	1
C	普通ポルトランドセメント	住友大阪セメント(株)	3.15
FU	炭酸カルシウム	(株)三友	2.71
S1	細骨材(砕砂)	南九州市川辺町清水産	2.66
S2	細骨材(砕砂)	いちき串木野市金山産	2.61
G	粗骨材(砕石)	いちき串木野市金山産	2.61
AD1	減水剤	シーカメント2200	1.065
AD2	AE剤	シーカAER-50	1.065
WR	撥水剤	W10	0.99

表 2 配合

配合名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)									
			水 W	セメント C	混和剤 FU	細骨材 S1	細骨材 S2	粗骨材 G	減水剤 AD1	AE剤 AD2 C×%	撥水剤 WR C×%	
試験練り	撥水剤なし	51.8	39.7	170	328	216	455	195	973	6.75	0.012	0
	撥水剤あり										0.0136	0.5
U字溝	撥水剤なし	51.8	39.7	170	328	216	455	195	973	6.75	-	0
	撥水剤あり										-	0.5

*技術研究所 材料研究部

※本報の一部は、令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会(V-416, 2025.08)で発表済みである。

供試体条件が一部異なるため、試験系統ごとに整理して示す。

2.1.1 コンクリート配合・使用材料

(1)試験練り・透水抑制機能評価（室内供試体、U字溝）

試験体のコンクリートの使用材料を表 1 に、コンクリート配合を表 2 に示す。試験練り（室内供試体）では、目標スランプフローを 650 mm、目標空気量を 4.5%とした。養生は 24 時間室内保管後、屋外放置とした。U 字溝製作時は non-AE コンクリートとし、目標空気量を 2.0%とした。養生は蒸気養生（前置き 30～60 分後、約 60℃で 1 時間）後に屋外放置とした。

(2)曲げひび割れ耐力試験（製品）

曲げひび割れ耐力試験に用いたコンクリートの使用材料を表 3 に、コンクリート配合を表 4 に示す。目標スランプは 12 ± 2.5 cm、目標空気量は 4.5% ± 1.5%とした。養生は蒸気養生（前置き 60 分後、約 60℃で 1 時間）後に屋外放置とした。

表 3 使用材料

記号	材料	銘柄	密度 (g/cm ³)
W	水	神奈川県上水道	1
C	普通ポルトランドセメント	太平洋セメント(株)	3.16
S	細骨材(砕砂)	神奈川県相模原市緑区小倉産	2.59
G	粗骨材(砕石)	神奈川県相模原市緑区小倉産	2.62
AD	混和剤	マスターポリヒド2000	1.02
WR	撥水剤	W10	-

表 4 配合

配合名	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					撥水剤 WR C×% 0 0.5
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	混和剤 AD	
撥水剤なし	48.3	42.5	170	352	752	1029	1.76	
撥水剤あり								

2.1.2 供試体の形状・寸法

供試体の形状と寸法は表 5 に示す。

表 5 供試体の形状・寸法

区分	試験対象	寸法
試験練り(室内供試体)	円柱供試体	φ100×200mm
	角柱供試体	100×100×400mm
透水抑制機能評価(U字溝)	KWTラフ	幅300×長さ1000mm
曲げひび割れ耐力試験(製品)	落ちふた式U形側溝3種300A	幅300×長さ2000mm
	落ちふた式U形側溝ふた3種300	412×500mm、厚さ95mm
	上ふた式U形側溝1種300B	幅300×長さ600mm

2.1.3 撥水剤

今回使用した撥水剤は、コアシェル化カプセル技術を用いた特殊な撥水剤である。コアシェル化カプセル技術は、撥水成分を被覆材により包み込むことで、練混ぜ直後における撥水作用の急激な発現を抑制し、セメントの水和反応への影響を低減するとともに、硬化後のコンクリート内部において吸水防止性能を発現させるものである。撥水剤は後添加とし、添加量はセメント質量比で 0.5%とした。

2.2 試験項目

実施した試験項目を表 6 に示す。

表 6 試験項目

試験練り(室内供試体)	圧縮強度試験(JIS A 1108)
	凍結融解試験(JIS A 1148)
	透水試験(JIS A 6909)
透水抑制機能評価(U字溝)	WAPP透水試験
曲げひび割れ耐力試験(製品)	曲げひび割れ耐力試験(JIS A 5372)

2.2.1 圧縮強度試験

圧縮強度試験は、JIS A 1108 コンクリートの圧縮強度試験方法に準拠した。材齢 7 日および 28 日で実施し、撥水剤添加が圧縮強度へ影響を与えないことを確認するために試験を実施した。浅本らの研究では、既存の撥水剤を混ぜたモルタルの特性が調査されている¹⁾。その結果、このモルタルは表面の撥水効果を持ち、ひび割れが生じても水の浸透を抑えることが確認されているが、市販の撥水剤を配合すると、圧縮強度が最大で約 50%低下するという課題も明らかになっている。

2.2.2 凍結融解試験

凍結融解試験は、JIS A 1148 コンクリートの凍結融解試験方法 A 法に準拠した。凍結側が-18℃、融解側が 5℃、1 サイクルは約 3～4 時間で管理して 300 サイクルまで実施し、撥水剤添加による耐凍害性の変化を確認するために試験を実施した。

2.2.3 透水試験

透水試験は、JIS A 6909 建築用仕上塗材の透水試験 B 法に準拠した。φ100×200 mm の円柱

供試体を使用し打設面で計測を行った。打設面での透水試験を実施した後、コンクリート表面だけでなく内部の透水抑制機能を確認するために、打設面から 5 mm ずつ研磨を実施し、その研磨面で透水試験を実施した。透水試験は、鉄筋の被りを考慮し打設面から 55 mm までの深さで実施した。

2.2.4 WAPP 透水試験

U 字溝は豊福らによって開発された WAPP 透水試験機²⁾を用いて、透水量の測定を行った(写真 1)。本試験は全体に撥水剤が混和されているか確認するために試験を実施した。



写真 1 WAPP 透水試験

2.2.5 曲げひび割れ耐力試験

曲げひび割れ耐力試験は、JIS A 5372 プレキャストコンクリート製品に準拠して実施した(写真 2)。試験は試験体を所定の支持条件で曲げ試験装置に設置し荷重を加え、規定荷重に到達するまで載荷した。試験体が規定荷重に到達した時点で、所定の保持を行ったうえで観察を実施し、曲



写真 2 曲げひび割れ耐力試験状況

げひび割れが認められない場合を合格(異常なし)とし、撥水剤の添加がコンクリート製品の曲げひび割れ耐力に及ぼす影響を定量的に評価した。

3. 試験結果

3.1 圧縮強度試験

圧縮強度試験の結果を図 1 に示す。撥水剤を添加したコンクリートは、ベースコンクリートと比較して同程度の強度を示すことを確認した。撥水剤添加による強度低下は少ないと考えられる。

3.2 凍結融解試験

凍結融解試験の結果を図 2 に示す。300 サイクル時点での相対動弾性係数について、撥水剤を添加したコンクリートは相対動弾性係数が約 85% となり、ベースコンクリートと比較すると 10% 程度低い結果を示したが、コンクリートの耐凍害性を評価する上で指標とされる相対動弾性係数 60% 以上は保持することを確認した。この結果か

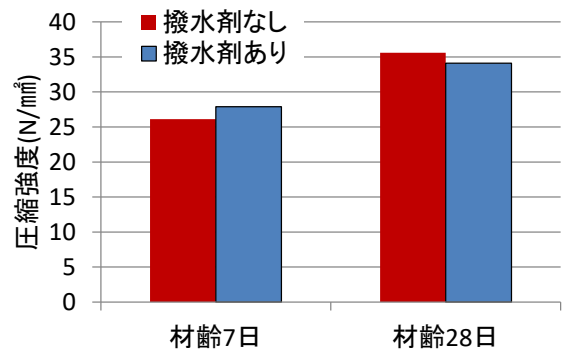


図 1 圧縮強度試験結果

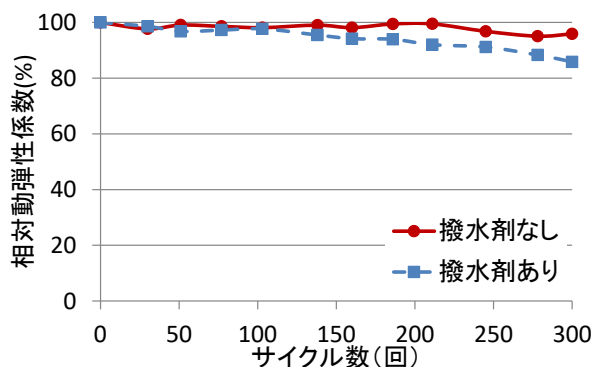


図 2 凍結融解試験結果

ら、撥水剤添加によって耐凍害性が著しく低下する傾向は認められなかった。

3.3 透水試験

透水試験の結果を図 3 に示す。撥水剤を添加したコンクリートは、ベースコンクリートと比較して透水抑制効果を示すことを確認した。透水量の抑制率は全ての試験面において約 50%以上となった。この結果より、表層だけでなく内部まで疎水化した吸水防止層が形成されていることが分かる。

3.4 WAPP 透水試験

WAPP 透水試験の結果を図 4 に示す。U 字溝の測定面に WAPP 試験機のチャンバーを取り付け、チャンバー内を水で満たした後、20 分間、55 kPa の圧力を加えてコンクリート内に侵入する透水量の計測を行った。透水試験の結果は、各測定面で 2 か所ずつ測定を行い平均化したものである。

試験の結果、撥水剤を添加したコンクリートをベースコンクリートと比較すると、底面では透水量の差が微量となっているが、側面では約 30% の透水抑制効果の向上が認められた。U 字溝外側においても底面外側は約 35%、側面外側では約 15% の透水抑制効果の向上が認められた。底面における透水量の差が微量であった原因については、U 字溝製作時に底面外側が打設面になるため、底面側が密実になったのではないかと考えられる。透水量の値は撥水剤を添加した場合、底面、側面の場所によらず同程度となっていることから、撥水剤を添加した場合、コンクリート製品であっても、撥水剤が均一に混和されていると考えられる。

3.5 曲げひび割れ耐力試験

曲げひび割れ耐力試験の結果を図 5 に示す。全ての供試体において、撥水剤の添加有無にかかわらず、測定値はいずれも各製品の規定荷重を満たした。落ちふた式 U 形側溝 3 種 300A では撥水剤添加・無添加ともに 73.2 kN と同等の測定

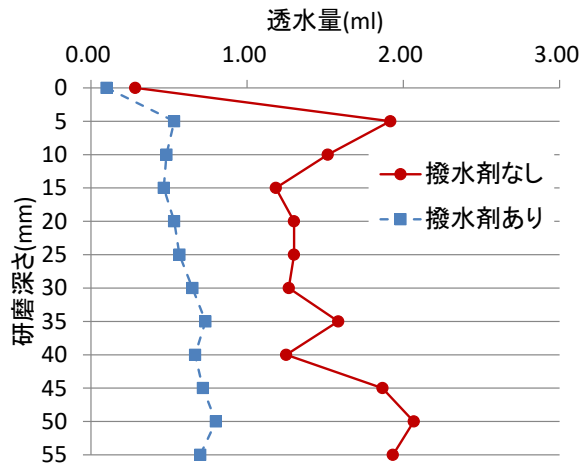


図 3 透水試験結果

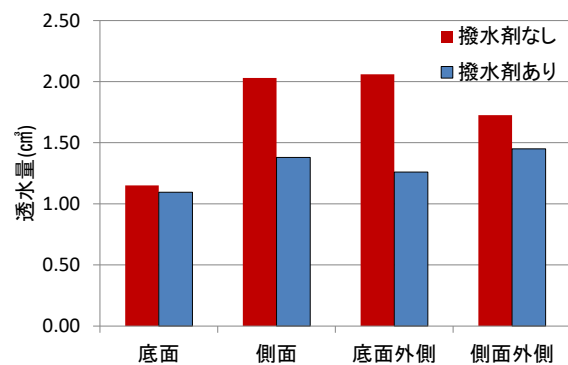


図 4 WAPP 透水試験結果

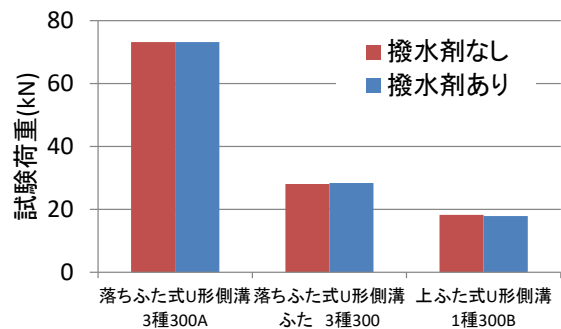


図 5 曲げひび割れ耐力試験結果

値を示した（規格値：72 kN）。落ちふた式 U 形側溝ふた 3 種 300 では撥水剤添加 28.1 kN、無添加 28.4 kN（規格値：27 kN）、上ふた式 U 形側溝 1 種 300B では撥水剤添加 18.3 kN、無添加 17.9 kN（規格値：17 kN）と、いずれの条件でも規格荷重をクリアし、撥水剤の有無による性能に顕著な低下は見られなかった。

4. まとめ

今回の撥水剤を添加したコンクリートの各諸性状の試験の結果、以下のことを確認した。

- ・圧縮強度試験では、撥水剤を添加したコンクリートはベースコンクリートと同等の結果を示した。
- ・凍結融解試験では、撥水剤を添加したコンクリートは一般的に耐凍害性を有するとされる相対動弾性係数 60%を超える値を維持することを確認した。
- ・透水試験の結果では、室内試験練りのコンクリートでは撥水剤を添加することで 50%程度の透水抑制率を有することを確認した。コンクリート内部についても、表層と同等以上の透水抑制率を有することを確認できた。コンクリート製品においても、各試験面で透水抑制効果を示し、コンクリート全体に撥水剤が均一に混和していることを確認した。
- ・撥水剤の添加は、コンクリート製 U 形側溝およびその蓋の曲げひび割れ耐力に悪影響を及ぼさないことが示された。全ての試験において、撥水剤の有無にかかわらず製品は要求される性能を満たし、異常も確認されなかった。

5. 今後の展開

今後は実環境下での長期的な性能検証を進める。具体的には、今回試作した U 字溝を実際に屋外に暴露し、経年による変化を定期的に検査していく。これにより、撥水剤添加コンクリートがコンクリート構造物の長寿命化に寄与する有効な技術であることを実証し、実用化に向けたさらなる知見を得ることを目指していく。

【参考文献】

- 1) 浅本晋吾, 吉田悠佳, 樂堯, 米田大樹: 撥水材を混入したセメント系材料の内部撥水性と材料特性の検討, コンクリート工学論文集, 第 29 巻, pp.11-19, 2018

- 2) 豊福俊泰, 白川敏夫, 彌永育代: コンクリート構造物の透水性試験に基づく品質評価方法, 特許公報 (B1), 特願 2013-110971, 特許第 5611417 号, 学校法人中村産業学園, 2014.9.12

5. 覆工コンクリートの打設を想定した非接触式センサーによる高さ測定方法の実用化に向けた検討

Study on the Practical Application of a Height Measurement Method using Non-contact Sensor for Lining Concrete Placement

村田康平* 駒田憲司* 佐藤俊男*

—概要—

コンクリート構造物の品質確保には、打設中のコンクリートの打込み高さを正確に把握することが重要である。しかし、覆工コンクリートの打設では、コンクリートに接触して検知する従来のセンサーは、型枠内部への設置や型枠への孔開けが必要となり、手間やコストがかかるという課題があった。この課題解決のため、型枠外面にセンサーを取り付け、コンクリートに直接接触せずに型枠内部のコンクリート打込み高さを把握する非接触式センサーを開発した¹⁾。本論文では、実際の覆工コンクリート打設を想定し、FRP製セントル型枠のヒンジ部、型枠継目部を含め模擬した非接触式センサー付型枠を用いて打ち込み高さを把握する実験を行った結果を報告する。

—技術的な特長—

図1に試験体概要を示す。非接触式センサーは、リード線が接続された一対の銅板で構成され、型枠の外面に一定間隔で設置して使用する。この非接触式測定方法は、非金属製の型枠に適用可能である。型枠外面に配置された一対の電極間に交流電流を印加し、型枠内部に空気より比誘電率の高いフレッシュコンクリートが充填されると、電極間の静電容量が増加する原理を利用している。この静電容量の変化が打設コンクリートの高さに比例して増加することから、打込み高さを算出する。

図2に実験結果を示す。FRP製セントル型枠を用いた実験の結果、コンクリートの打設高さの上昇に伴い静電容量がほぼ比例して上昇することが確認された。これにより、トンネル覆工コンクリートのFRP製セントルにおいても打込み高さの把握が可能であり、実際のトンネル覆工コンクリート打設に適用可能であることが示された。また、型枠の剥離剤塗布や固定用鋼材の配置が計測値に影響を与えないことも確認された。

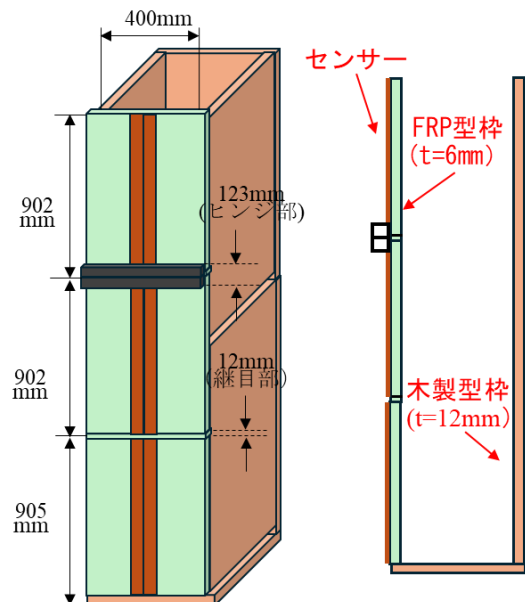


図1 試験体概要

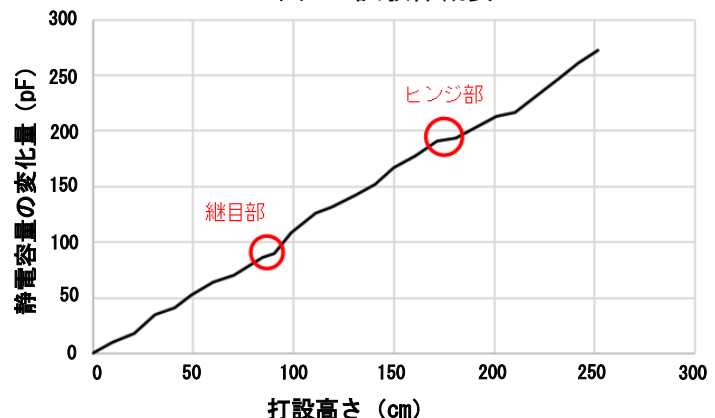


図2 実験結果

1) 梶原陸、村田 康平、駒田 憲司、佐藤 俊男：静電容量による非接触式コンクリート打込み高さ測定方法の開発、土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会、CS9-08

※本報の一部は、令和7年度土木学会全国大会第80回年次学術講演会(CS9-67, 2025.08)で発表済みである。

覆工コンクリートの打設を想定した非接触式センサーによる高さ測定方法の 実用化に向けた検討

Study on the Practical Application of a Height Measurement Method using Non-contact Sensor for Lining Concrete Placement

○村田 康平*
Kohei MURATA

駒田 憲司*
Kenji KOMADA

佐藤 俊男*
Toshio SATO

ABSTRACT Ensuring the quality of concrete structures requires understanding the placement height. Various sensors have been developed for lining concrete placement, but most of them detect by contacting the concrete. Therefore, the authors developed a measurement method that involves attaching sensors to the exterior of the formwork to ascertain the concrete placement height inside the formwork without direct contact with the concrete. This study concerns experiments using FRP formwork for tunnel lining, which is used in actual lining concrete placement. As a result of the experiments, it was found that the placement height will be determined even with FRP formwork for tunnel lining concrete, indicating its applicability to actual tunnel lining concrete placement.

Keywords: 打込み高さ、非接触、静電容量、比誘電率、FRP、打設管理

Placement Height, Non-Contact, Capacitance, Relative Permittivity, FRP, Placement

1. はじめに

コンクリート構造物の品質を確保するためには、打上がり面がほぼ水平になるようコンクリートを均等に一層 40～50cm 以下の高さで打ち込み、締固めを行うとともに、所定の打重ね時間間隔以内で次の層を打設する必要がある。特に覆工コンクリートの打設では左右均等に打ち込む必要があり、従来打込み状況を把握するためには狭隘なセントル内の複数ある検査窓から作業員が照明を当てながら目視確認する必要があった。また、検査窓から離れた場所については目視確認が困難になることもあった。その対策として、コンクリートの打込み高さを確認する様々なセンサーが開発されているが、多くはコンクリートに直接接触して検知するセンサーであり、打設毎にセンサーをセットする、型枠に孔を設けるなどを行う必要があった。

そこで、自社独自のコンクリートの打込み高さを計測する技術として、型枠外面にセンサーを取り付け、コンクリートに直接接触せず、型枠内のコンクリートの打込み高さを把握する方法を

開発した。ここでは、覆工コンクリート打設に用いる FRP 製セントル型枠のヒンジ部、型枠継目部を含め模擬した非接触式センサー付型枠を用いた検証実験の結果について報告する。

2. 技術概要

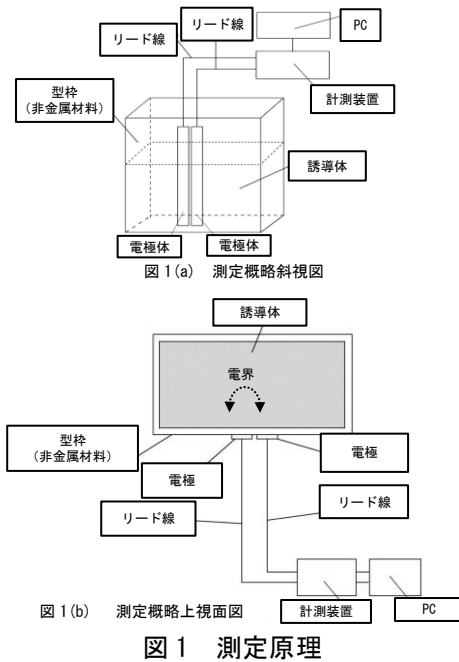
2.1 測定原理

静電容量による非接触式高さ測定方法の測定原理を図 1(a)測定概略斜視図、図 1(b)測定概略上視面図を用いて説明する。非金属である型枠等の空間に、極小な平行距離をおいた一対の帯状電極体間に交流電流を印加すると、帯状電極体間に電界が生じてコンデンサのようになり静電容量が生じる。本測定システムは、この電界内に空気より比誘電率の高い誘電体物質(水やフレッシュコンクリート等)が入ると電界強度が強くなり静電容量が増加するという原理を用いている。

そして、型枠の内側に打設コンクリートが充填されると、充填高さが増加するとともに電極体間の静電容量の値も比例して増加することで打設コンクリートの高さを算出できる。比例関係につ

*技術研究所 材料研究部

※本報の一部は、令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会(CS9-67, 2025.08)で発表済みである。



いては、事前に静電容量とコンクリートの高さとの関係を表す傾き値を求めておく。なお、非接触式センサーを取り付ける型枠は非金属であるが、型枠が厚いほど静電容量の上昇量は小さくなるので型枠厚さは材質により制限される。

計測装置からの電極体への入力信号は、所定の高周波数の測定用交流信号であり、電極体間のインピーダンスと位相角を測定して容量リアクタンスを算出し、次式を用いて静電容量の値を算出する。その値により打設コンクリートの高さレベルを求める。

$$XC=1/(2\pi fC) \cdots (1)$$

XC:容量リアクタンス、f:交流電圧の周波数、C:静電容量

$$H=a \times C$$

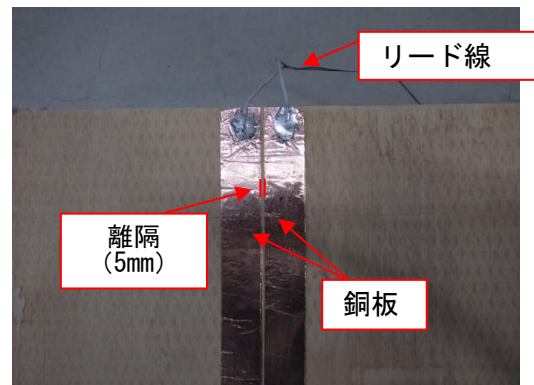
H:打設コンクリートの高さ、a:傾き値、

C:静電容量

2.2 センサー（電極体）の概要

センサーの概要を写真 1 に示す。センサーはリード線が接続された一对の銅板であり、型枠の外側部に設置して使用する。設置是一对の銅板間の間隔が一定となるよう離隔して配置する。この一对の銅板が計測する型枠内部の静電容量の変化により打ち上げ高さを測定する。フレッシュコン

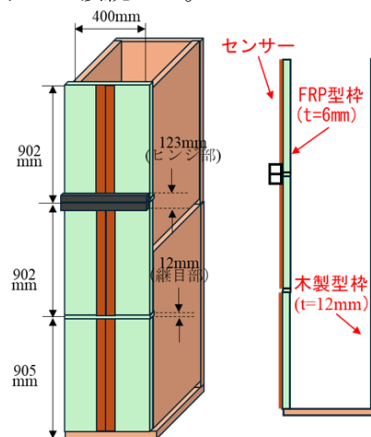
クリートの比誘電率は 80 に近く、空気の比誘電率 1 より大きいので、型枠内の空気がフレッシュコンクリートに置換されると、一对の電極間の静電容量が増加する。静電容量は打設コンクリートの打込み高さに比例して増加し、静電容量の値を連続的に検出することにより高さの測定を行う。



3. 実験方法

3.1 FRP センترل型枠試験体

試験体の概要を図 2、写真 2 に示す。試験体は断面 400mm×400mm、高さ 2,700mm で、センサーを配置する側の型枠の 1 面を FRP 型枠とした。FRP 型枠は高さ 902.5mm のものを高さ方向に 3 つ連結させた配置とした。FRP 型枠同士の連結部は、実際の FRP センترل型枠の継目と可動ヒンジ部を再現し、センサーは FRP 型枠の高さ方向に張り付け、継目部・ヒンジ部はリード線と接続端子にて接続した。



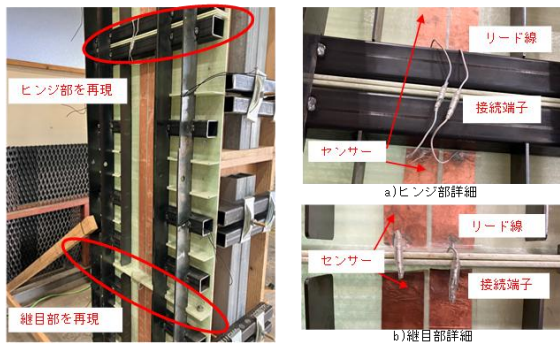


写真2 継目部・ヒンジ部概要

3.2 コンクリート配合と打ち込み

コンクリートの配合を表1に示す。使用するコンクリート配合は覆工コンクリートを想定し、スランプ15cm、粗骨材最大寸法40mm、高炉セメントB種を使用した配合を用いた。試験体へのコンクリートの打込みは高さ2,500mmまでとし、作業員による手投入とした(写真3)。計測は専用の計測装置とソフトウェアを用いた(写真4)。計測装置は交流高周波100kHzの信号をセンサーに印加するとともに、打設コンクリート高さに応じた静電容量を計測する。実験では、100mmごとに静電容量を計測した。

表1 配合表

配合表 kg/m ³						
セメント	水	細骨材①	細骨材②	粗骨材①	粗骨材②	混和剤
256	154	510	276	746	320	2.56
水セメント比		60.0%		細骨材率		43.3%



写真3 コンクリート打込み状況



写真4 計測装置

4. 実験結果

打設高さと静電容量の関係を図3に示す。図よりコンクリートの打設高さが上昇するにつれて静電容量はほぼ比例して上昇することが分かる。継目部を再現した型枠の継目高さ900mm付近とヒンジ部を再現した1,750~1,850mm付近は、センサーが断続的になっているため、静電容量の上昇は概ね停滞していた。今回の実験では実際の打設を想定し、型枠面に剥離剤の塗布、固定用の鋼材の配置なども行ったが、これらの要素が計測値へ影響をあたえないことを確認した。

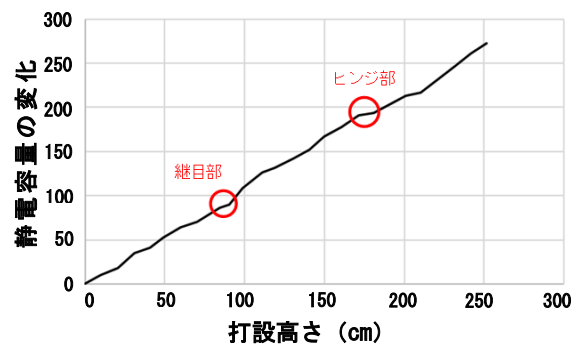


図3 実験結果

5. まとめ

本検討で得られた知見を以下に示す。

- (1) 覆工コンクリートを想定した配合のコンクリートを用いて、打設高さと静電容量がほぼ比例することを確認した。
- (2) センターの継目部やヒンジ部についてはセンサーが断続的となるが、接続端子の利用と専用ソフトでの演算処理の工夫により、打込み高さが連続的に計測できるものと思われる。

以上により、開発した測定技術がトンネル覆工

コンクリートの FRP 製セントルへ適用可能なことが分かった。今後は本計測方法を実現場で活用し適用実績を積むとともに、より実用的な測定方法となるよう努めたい。

【参考文献】

- 1)土木学会：コンクリート標準示方書
[施工編]pp120-124,2023
- 2)梶原陸ほか：静電容量による非接触式コンクリート打込み高さ測定方法の開発,土木学会全国大会第 79 回年次学術講演会,CS9-08

6. 打継処理面の定量評価に関する検討

Research on Quantitative Evaluation of Construction Joint Surface Preparation

谷口克彦* 岡村宏一* 新村 稔**

—概要—

打継を有する新設のコンクリート構造物の施工では、新旧コンクリートを確実に一体化させることが求められている。一般に新旧コンクリートを一体化させるために下層コンクリート打設後に表層のレイタンス等の脆弱部をワイヤブラシや高圧水で除去してから上層のコンクリートを打継いている。しかしながらこの脆弱部除去後の打継面の判断は目視で行われており、担当者によってその基準が異なることから、定量的な判断ができていないと言えない。

そこで本検討では、脆弱層を除去したコンクリート打継面を 3 次元計測機を用いて計測し、打継面を定量的に評価したうえで直接引張試験を行い、打継面の評価との関係性を確認した。その結果、算術平均粗さを用いて打継面を定量化（写真 1、図 1）できることを確認したが、定量評価には課題が残った。

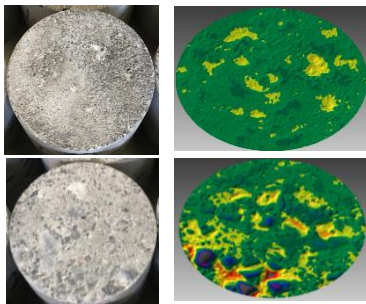


写真 1 打継面とコンター

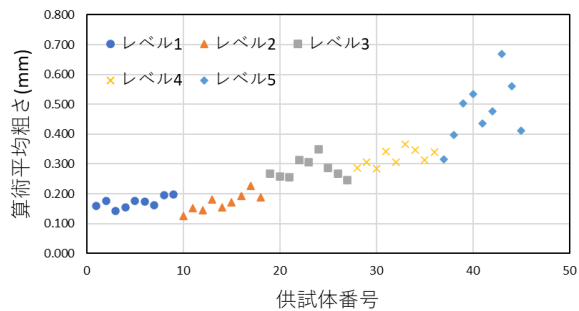


図 1 算術平均粗さ

—技術的な特長—

本検討で使用した 3 次元測定機は（株）セイコーウェーブの所有する 3DSL-Rhino を用いた。打継面を 3 次元測定機（写真 2）を用いて計測し、計測されたデータのうち、算術平均粗さを評価指標とした。今回の検討では打継面の粗さを 5 段階とし、打継処理の経験を有する職員数名がそれぞれの粗さを評価し分類した。5 段階の表面粗さを有する供試体を 3 次元測定し算術平均粗さを算出した。その後供試体はコンクリートを打ち重ねたのちに直接引張試験（写真 3）を行った。算術平均粗さと目視の官能評価、直接引張試験を検証することで打継面の定量評価の可能性と、打継面の品質を評価した。



写真 2 打継面測定状況



写真 3 直接引張試験状況

※本報の一部は、令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会(12PM2-Pe-12, 2025.09)で発表済みである。

*技術研究所 材料研究部

**株式会社セイコーウェーブ

打継処理面の定量評価に関する検討 Research on Quantitative Evaluation of Construction Joint Surface Preparation

○谷口 克彦* 岡村 宏一* 新村 稔**
Katsuhiko TANIGUCHI Kouichi OKAMURA Minoru NIIMURA

ABSTRACT In the construction of new concrete structures with construction joints, it is essential to integrate the new and old concrete. To achieve this integration, it is common practice to treat the surface layer of the lower concrete. However, this surface treatment relies on the visual judgment of the responsible personnel, leading to varying standards among evaluators and preventing a truly quantitative assessment. This study measured joint surfaces using a 3D measuring device, quantitatively evaluated them using arithmetic mean roughness, and confirmed the relationship with joint surface evaluation using tensile tests. The results showed no significant difference between arithmetic mean roughness and the average tensile strength, but a difference was confirmed between tensile strength and the standard deviation of arithmetic mean roughness.

Keywords :打継処理面, 算術平均粗さ, 直接引張試験

Construction Joint Surface Preparation, Arithmetic Mean Roughness, Direct Tensile Test

1. はじめに

打継を有する新設のコンクリート構造物の施工では、新旧のコンクリートを確実に一体化させることが求められている。一般に、新旧のコンクリートを一体化させるためには下層のコンクリート打設後に打ち上がり面の上層に存在するレイタンス等の脆弱部をワイヤブラシや高圧水を用いて除去してから上層にコンクリートを打ち継いでいる。この脆弱部の除去には定量的な指標はなく、コンクリート標準示方書においても、すでに打ち込まれた下層のコンクリート上部のレイタンス、品質の悪いコンクリート、緩んだ骨材等は取り除く必要があると記載がある¹⁾。しかしながらこの脆弱部除去後の打継面の判断は目視で官能評価されており、担当者によってその判断基準が異なることも多々あることから定量的な判断ができていないのが現状である。

本検討では脆弱部等を除去したコンクリート打継面を 3次元計測機を用いて計測し、打継面を

定量的に観察・評価したうえで直接引張試験を行い、打継面の評価とその妥当性を確認することとした。

2. 試験概要

2.1 打継面の測定

打継面は 3次元計測機を用いて三次元座標を計測し、その後に算術平均粗さを算出し評価した。3次元計測機は(株)セイコーウェーブが保有する 3DSL-Rhino を用いた。本計測機はパターン光投影法を用いて対象物表面の三次元座標を取得している。3次元計測機の本体のサイズは W300mm×D158mm×H155mm となっており、計測寸法の再現性は $\pm 50\mu\text{m}(1\sigma)$ 以下である。

測定は後述する打継面を有する供試体の上面に 3次元計測機を固定して行った(写真 1)。計測時には打継面と計測機の距離は約 50cm とした。この距離は一回の測定で打継面 15cm×27cm の面積を計測できるものであり、一回で計測でき

*技術研究所 材料研究部

**株式会社セイコーウェーブ

※本報の一部は、令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会(12PM2-Pe-12, 2025.09)で発表済みである。

ない場合は複数の測定結果を重ね合わせて一つの測定データとして合成して計測できる。



写真1 測定状況

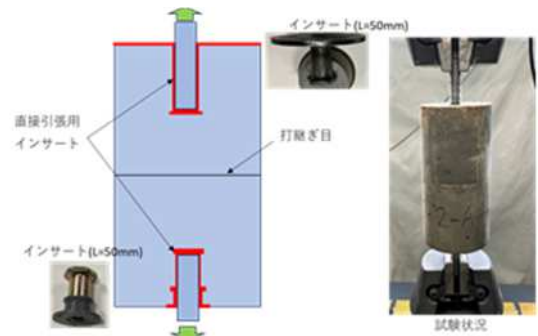


図1 直接引張試験

2.2 供試体作製と区分

本検討では打継面の品質確認のために打継面の計測後に直接引張試験を行うこととし、供試体寸法はφ100mm×200mmとした。測定する打継面はこの供試体の中心高さに設けた。打継面の粗さは5段階とし、段階的に粗さを調整した。この表面の粗さの程度はレタンス処理やグリーンカットの経験を有する職員数名で判断した。なお、この時のレベル分けの基準は表1に示す通りとし、レベルが高くなるにつれて処理の程度も粗くすることとした。

打継面はコンクリート打設後、脆弱部の除去を行った。除去方法はワイヤブラシとし、表層の粗さを調節するため打継処理剤の濃度を変えて散布した。なお、今回の検討ではレベルごとに供試体数を9体とした。

表1 打継面判定区分

供試体	目視判定区分
レベル1	凹凸面が無く平滑
レベル2	レベル1よりは凹凸が有る程度
レベル3	レベル1とレベル5の中間程度
レベル4	粗骨材がやや露出する程度
レベル5	粗骨材が緩みなく露出した状態

直接引張試験は供試体の上下端部に金属製のインサートを埋設し、供試体脱型後にインサートに全ネジボルトを挿入した。その後、全ネジボルトを精密万能試験機を用いて引張り、強度を計測した(図1)。

3. 試験結果

3.1 打継面の定量化

作成した打継面のうち、各処理レベルの代表的な写真とそれらを3次元計測機でコンター図に起こしたものをそれぞれ写真2、3に示す。

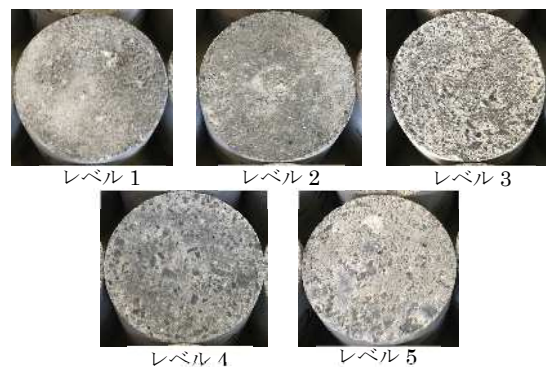


写真2 打継処理面

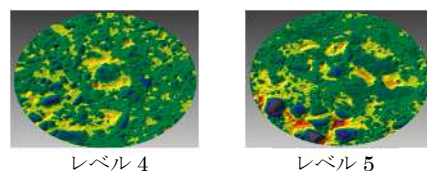
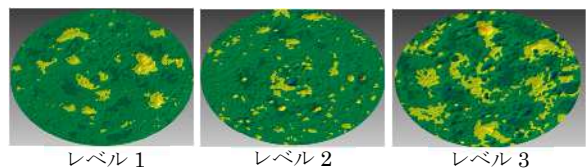


写真3 打継処理面 (コンター図)

これらを見ると各打継処理面の粗さがコンター図では一目で判断できるようになっていることが確認できた。

次にこれらの打継面の算術平均粗さをレベルごとにまとめたものを図2に示す。

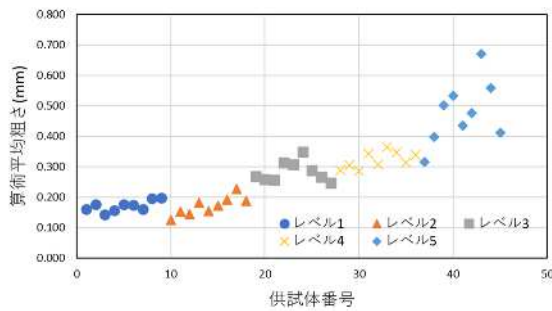


図 2 算術平均粗さ

これを確認するとレベルが高くなるにつれ(見た目の粗さが増すにつれ)算術平均粗さの値も大きくなっていることが確認できる。これは打継処理面の見た目の粗さを算術平均粗さで表すことで定量的に判断できることが示唆されているものとする。

図 2 を見ると、処理レベルが高くなるにつれて算術平均粗さのばらつきが大きくなっていることがわかる。これはレベルが高くなるにつれて打継面の処理量が増えた結果、打継面に現れる粗骨材の表面積が増加したことで算術粗さの値が減少したことが影響しているものとする。ただし全体の傾向としてはレベルが高くなるにつれて算術平均粗さの値は右肩上がりになっており、官能評価との相関がみられた。

3.2 打継処理レベルと引張強度の関係

2 層目のコンクリートを打設後に実施した直接引張試験の結果を図 3 に示す。

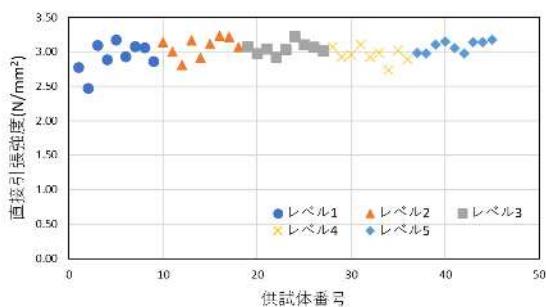


図 3 直接引張強度試験

試験の結果、打継面の処理レベルに関わらず、直接引張強度試験結果は概ね一定となり、その差は確認できなかった。なお、直接引張試験の際の破壊形状は打ち継ぎ目での破断に偏ることはな

かった(写真 4)。また、本検討の前に打継を有さないコンクリート供試体を用いて同様に直接引張試験を実施したところ、引張強度は 2.85N/mm^2 となっており、すべての打継処理レベルでこの値を超えていることから本試験においては打継部が弱点となることは確認できなかった。



写真 4 直接引張試験 (試験後)

次に算術平均粗さと引張強度の関係を図 4 に示す。これを見ると算術平均粗さが高くなるにつれて直接引張強度のばらつきが小さくなる傾向にあることが確認できる。これはレベルごとの平均値では確認できないが、表 2 に示すように引張強度の標準偏差を見ると打継処理レベルが高いもののほうが低くなっていることから確認できる。このため、定量評価である算術平均粗さが高く、官能評価である打継処理のレベルが高い供試体は品質が安定しているものと考えられる。

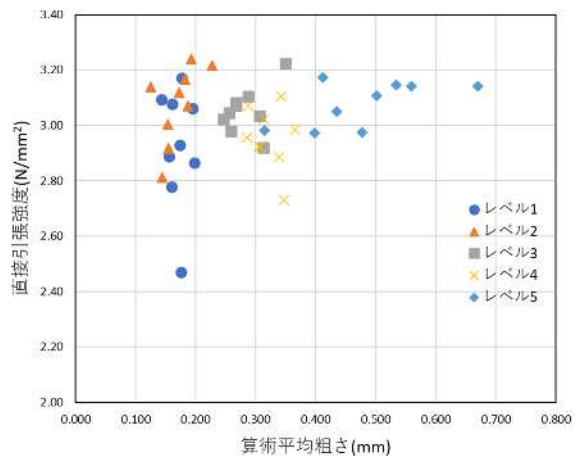


図 4 直接引張強度と算術平均粗さ

表 2 各レベルにおける試験結果（平均）

	レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	レベル5
引張強度(N/mm ²)	2.93	3.08	3.05	2.96	3.08
標準偏差(N/mm ²)	0.201	0.133	0.080	0.104	0.078
算術平均粗さ(mm)	0.171	0.171	0.284	0.321	0.478

4. まとめ

本検討では 3 次元計測機を用いて打継面の定量評価を行った。その結果、目視による官能評価と算術平均粗さには一定の相関があることが確認できた。また、打継面の品質を確認するために実施した直接引張試験では、算術平均粗さと直接引張強度試験の関係において、レベルごとの直接引張試験の平均値では優位な差は確認できないが、直接引張強度試験の標準偏差を見ると算術平均粗さの高いもののほうが安定した品質を得られる傾向にあることを確認した。

今後は打継面の品質評価の指標を直接引張試験だけではなく、せん断試験等の評価指標を用いて同様の試験を行い、打継面の品質とその力学的特性について評価を行う。

【参考文献】

- 1) 土木学会：コンクリート標準示方書〔施工編〕,pp.131-132,2023

7. 比抵抗値による盛土の締固め状況把握技術と既存技術との比較実験

An Experimental Comparison of Embankment Compaction Assessment Methods Based on Specific Resistance Values and Existing Techniques

落合裕正*

—概要—

本研究は、建設発生土を用いた盛土の締固め管理をより効率的に行うため、土の電気的性質である比抵抗値を利用して乾燥密度を推定する新しい手法（以下、比抵抗法と呼ぶ）を、既存の管理手法である砂置換法およびRI法と比較検証したものである。

実験の結果、各測定方法の測定範囲の違いにより、算出した乾燥密度に差が生じた。一方で測定時間は本研究で開発した比抵抗法が掘削などを必要としない方法であるため大幅な測定時間の短縮が可能であることが分かった。

—技術的な特長—

土を締め固めると、間隙中の空気が押し出され、間隙を占める水の割合が増える。これは、単位体積当たりの導電体（水）の体積が増えることを意味しており、土が締固められるのに伴い、土全体の電気的性質が変化するものと考えられる。比抵抗法ではこのような土の電気的性質を把握することで、土がどの程度締め固められたかを把握することが出来る（写真1）。また、従来の方法のような掘削等が不要であり、事前作業は含水比測定程度にとどまるため、現場での測定時間を大幅に短縮することができる（写真2,3）。



写真1 比抵抗法の測定状況



写真2 砂置換法の測定状況

写真3 RI法の測定状況

一方で、比抵抗法で測定した乾燥密度は、従来の方法と比べると乾燥密度をやや低く評価する傾向が確認された（表1）。これは各測定方法で測定領域が異なること、盛土の施工から本実験の実施までの間に天候等の影響で表層の密度が低下したことが原因だと考えられる。

総じて比抵抗法は従来の方法より、測定時間が短いという利点を持ち、盛土品質管理の効率化に寄与する技術であり、将来的にはより深部まで測定可能な装置の開発を行うことで、正確性と適用範囲がさらに向上することが期待される。

表1 各測定方法による測定結果

測定方法	測定時間 (s)	乾燥密度 (g/cm ³)
砂置換法	1934	1.97
RI法	2628	2.08
比抵抗法	1187	1.73

1) 落合裕正ほか、電気的性質を利用した締固め土の乾燥密度の推定方法、第34回地盤工学研究発表会、2024.

比抵抗値による盛土の締固め状況把握技術と既存技術との比較実験 An Experimental Comparison of Embankment Compaction Assessment Methods Based on Specific Resistance Values and Existing Techniques

○落合 裕正*
Hiromasa OCHIAI

ABSTRACT This study investigates the use of soil electrical properties for compaction control of embankments constructed using construction-generated soil with complex soil characteristics. Therefore, we compared the method developed in this study for estimating dry density using electrical resistivity with existing dry density measurement methods. The results showed that the method developed in this study significantly reduces measurement time compared to existing methods.

Keywords :比抵抗値, 盛土, 締固め, 乾燥密度
Electrical resistivity, Embankment, Compaction, Dry density

1. はじめに

環境意識の高まりを受けて、盛土等における建設発生土の再利用が進められている一方、様々な土質特性を有する土を盛土材料に使用することで、不安定な盛土の流出災害等も生じるなど、その締固め管理の重要性が増している。令和 5 (2023) 年 5 月 26 日には「宅地造成および特定盛土等規制法」(通称「盛土規制法」)が施行され、盛土等を行う土地の用途やその目的にかかわらず、危険な盛土等を全国一律の基準で包括的に規制することになった。これにより、盛土規制法の規制区域内で盛土等を行う場合には、より厳格な盛土の締固め管理が求められることになる。

さらに、盛土の「締固め」は、一般的な土工の各工程の中で、唯一その品質が問われる作業であり、造成された土構造物の全共用期間を通じた安定性や要求される支持性能を左右する重要な工程である。

2. 技術の内容

本研究では、複合的な土質特性を有する建設発生土などを使用した盛土の締固め管理において、

比較的容易に測定可能な土の電気的性質を利用することを考えている。

2.1 目的

本報告の目的は、比抵抗値を用いた乾燥密度の推定方法(以下、比抵抗法と呼ぶ)と既存の乾燥密度の測定方法との比較を行い、本技術の有効性を確認することである。

2.2 技術の原理

土を締め固めると、間隙中の空気が押し出され、間隙を占める水の割合が増える。これは、単位体積当たり導電体(水)の体積が増えることを意味しており、土が締固められるのに伴い、土全体の電気的性質が変化するものと考えられる。本研究では、このような土の電気的性質を経時的に把握することで、土の締固め度をリアルタイムに確認できる方法を検討している¹⁾。

3. 実験内容

3.1 実験概要

当社作業所内の擁壁背面の埋戻し部において、本研究にて開発した比抵抗法と既存の乾燥密度の測定方法として砂置換法及び RI 法の合計 3 通

*技術研究所 材料研究部

りの方法で乾燥密度の計測を行い、その測定結果及び測定時間を比較した。なお、当該箇所は施工から本実験の実施までに3か月以上経過している。現場状況を写真1に示す。

3.2 実験条件

当該盛土材料の室内試験の結果を表1に、乾燥密度の計測に適用した規格を表2に示す。乾燥密度の測定は各測定それぞれ3測点ずつ同一箇所にて実施した。なお、測定時間の計測は、測定状況をビデオカメラにより撮影し、後日動画を確認することで行った。RI法及び比抵抗法で用いた測定機器を写真2に、各測定方法の実施状況を写真3～写真5に示す。

表1 盛土材料の室内試験結果

土粒子密度 (g/cm ³)	自然含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)	最適含水比 (%)
2.788	7.9	2.048	11.4

表2 適用した規格

測定方法	規格
砂置換法	JIS A 1214
RI法	JGS 1614
比抵抗法	—

4. 実験結果

各測定方法により得られた乾燥密度およびその測定時間は以下の通りである。

4.1 乾燥密度

乾燥密度の測定および推定結果を表3に示す。また、各測定方法によって得られた乾燥密度を、砂置換法によって求めた乾燥密度を基準として百分率で示している。

表3 乾燥密度の測定結果

測定方法	乾燥密度(g/cm ³)	比率(%)
砂置換法	1.97	100(基準)
RI法	2.08	105.6
比抵抗法	1.73	87.8

4.2 測定時間

各測定方法の測定時間を表4に示す。なお、測定時間は車から測定用資材を降ろす測定準備工

程、事前測定工程、本測定までの時間とした。砂置換法及びRI法においては、上記の現地作業の他に、測定対象の土に対して炉乾燥法(JIS A 1203)等を行い、含水比等を測定する必要があるが、今回の時間測定にはこれを含まない。



写真1 現場状況



(左: RI法、右: 比抵抗法)
写真2 測定機器



(左: 掘削状況、右: 砂の投入状況)
写真3 砂置換法



(左: 削孔状況、右: RI計器設置状況)
写真4 RI法



(左: 比抵抗値測定 遠景、右: 比抵抗値測定 近景)
写真5 比抵抗法

表 4 各測定方法の測定時間

測定方法	項目	測定前準備	事前測定	本測定(3点当たり)	合計(s)
砂置換法	実施内容	砂の計量など	-	掘削、土採取、計量	1934
	時間(s)	420	-	1514	
RI法	実施内容	BG測定など	α測定	削孔、測定	2628
	時間(s)	950	1291	387	
比抵抗法	実施内容	測定器の組立など	体積含水率測定	貫入、測定	1187
	時間(s)	198	644	345	

4.3 実験の考察

今回の実験では、各測定方法から得られた乾燥密度は、砂置換法を基準とすると、RI 法は過大評価 (105.6%)、比抵抗法は過小評価 (87.8%) する結果となった。理由としては、各測定方法の測定領域の違いによる影響が考えられる。今回の測定では図 1 に示すように比抵抗法、砂置換法、RI 法の順で測定領域が深くなっている。さらに、今回測定を行った盛土は施工から 3 か月以上経過しており、その間、工事用車両等の通行がほとんどない場所であった。よって、密度の変化に影響を与える要因は天候によるものがほとんどであり、表層に近いほどその影響は顕著であると考えられる。つまり、表層は降雨等により乾湿の繰返しや浸食が起これ密度が低下したと考えられる。そのため、測定領域が深くまで及ぶ RI 法は過大評価となり、測定領域が浅い比抵抗法は過小評価となったと推測される。

測定時間については、砂置換法は掘削作業に、RI 法は BG 測定 (土中や宇宙から放出される自然放射能の測定) や α 測定 (土中の水分量の補正) に時間がかかるのに対し、比抵抗法は掘削の必要が無く、事前測定は体積含水率の測定のみであるため測定時間を大幅に短縮することが可能となった。なお、砂置換法及び RI 法は別途室内試験により含水比を求める必要があるが、本実験ではその時間は含んでいない。

5. まとめ

①天候の影響を受けやすい表層付近は密度が

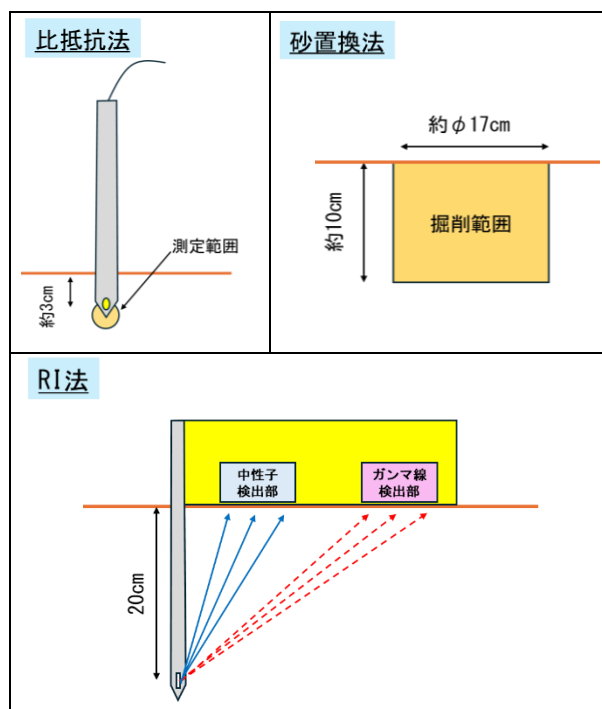


図 1 各測定方法の測定領域

低下しており、本実験で実施した測定領域が異なる 3 通りの測定方法では乾燥密度に差が生じた。
②本研究で開発した比抵抗法は従来の砂置換法及び RI 法と比較して測定時間を大幅に短縮することが可能である。

今後は盛土内部まで測定することが可能な比抵抗の測定装置の開発を検討しており、本測定器を用いて盛土の計測を継続的に行っていく。

【参考文献】

- 1) 落合裕正ほか：電気的性質を利用した締固め土の乾燥密度の推定方法，第 34 回地盤工学研究発表会，2024.

2. 技術特集

技術特集 1. 建設技術展 2025 近畿にて「審査委員特別賞」を受賞

Received The "Judges' Special Award" at The Construction Technology Exhibition 2025 in Kinki

下村将之* 波田雅也* 土田堯章* 山崎 彬* 泉田真里**

ー概要ー

当社は、2025年10月30日と31日に開催された建設技術展 2025 近畿において、出展企業として参加し、「DRF ダンパーを用いた橋梁制震化技術」が「審査委員特別賞」を受賞しました。

建設技術展 2025 近畿^{※1}は、「企業、学校、行政関係機関等が多彩な技術展示を行い、技術者並びに市民の来場者に、技術開発に関する交流及び促進の場を提供すること」をコンセプトとして開催されており、当社は「DRF ダンパーを用いた橋梁制震化技術」および「ICT 施工対応の水陸両用ブルドーザ工法」といった独自技術を出展しました。

「DRF ダンパーを用いた橋梁制震化技術（写真1）^{※2} ^{※3}」は、技術の先進性や効果、活用性が評価され、技術展示部門において審査委員特別賞（写真2、写真3）を受賞しました。

本賞の受賞を励みに、今後もイベントや展示会などの様々な機会を通じて、建設業の魅力発信に取り組むことで、社会に貢献してまいります。



写真1 DRF ダンパーの外観写真



写真2 建設技術展 2025 近畿 出展企業表彰式



写真3 審査委員特別賞 表彰状

※1 建設技術展 2025 近畿ホームページ：<https://www.kengi-kinki.jp/kengi2025/top.html>

※2 NETIS 登録番号：KT-200137-A

NETIS 掲載ページ：<https://www.netis.mlit.go.jp/netis/pubsearch/details?regNo=KT-200137%20>

※3 青木あすなろ建設(株) ホームページ：<https://www.aaconst.co.jp/technology/>

技術特集2. 「アンカー留太郎®」の橋梁耐震補強工事への適用

Application of “Anchor Tometaro” in bridge seismic reinforcement work

山崎 彬* 波田雅也* 木村浩之**

ー概要ー

「アンカー留太郎®」は、注入式接着系あと施工アンカー工法において、あらかじめアンカー筋に装着するだけで施工品質の確保と施工効率の向上に寄与する設置用補助具である（写真1）。今回、当社の橋梁耐震補強工事の現場において、落橋防止装置および水平力分担構造の取付けのためのあと施工アンカー工に「アンカー留太郎®」が適用され、従来に比べて工期短縮や人工縮減を達成し、施工効率の向上に寄与したことが確認された（表1、表2、写真2）。詳細については土木学会インフラメンテナンス実践研究論文集へ投稿した論文を参照されたし。（DOI：https://doi.org/10.11532/jsceim.5.1_319）

ー技術的な特長ー

「アンカー留太郎®」は、全ねじボルトと異形棒鋼の両方のアンカー筋に装着でき、アンカー筋を孔の中央に設置する「スペーサー機能」と、接着剤が硬化するまでの落下やずれを防止する「ストッパー機能」を発揮する（図1）。「スペーサー機能」により、アンカー筋の全周および全長で接着剤の付着が均一にでき、付着不良による施工不良を防止し施工品質を確保できる。また、「ストッパー機能」により、アンカー筋の落下やずれを防ぐための仮止め作業がアンカー筋の挿入と同時に完了し、挿入から付帯設備取付けまでの施工効率が向上する。（[アンカー留太郎ホームページリンク](#)）



写真1 アンカー留太郎®

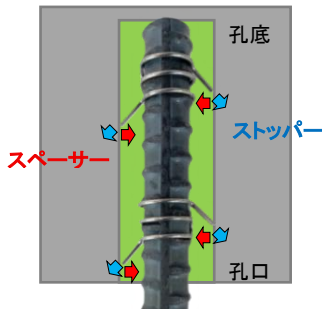


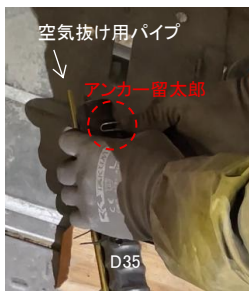
図1 スペーサー機能とストッパー機能

表1 現場概要及び工事内容

発注者	西日本高速道路株式会社 四国支社
工事名	高知自動車道 大豊IC～高知IC間耐震補強I工事
工事場所	高知県南国市領石、岡豊町定林寺、高知市一宮
工期	令和4年7月15日～令和8年5月27日
工事内容	RC巻き立て工、落橋防止構造10基、水平力分担構造69基の設置等
備考	継続する形でその2工事(令和6年2月8日～)を実施

表2 落橋防止構造のあと施工アンカーの施工結果

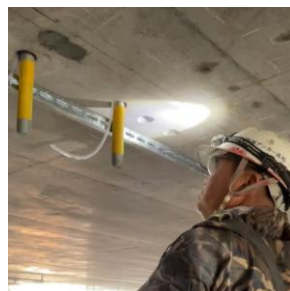
施工内容				従来技術		本技術		縮減率	
施工向き	サイズ	施工本数	アンカー留太郎使用個数	施工日数	総作業員数	施工日数	総作業員数	施工日数	総作業員数
横向き	D51	72本	144個	4.8日	15人	4.5日	15人	7%	0%
上向き	D35	132本	264個	6.4日	21人	5.5日	16人	14%	24%
合計		204本	408個	11.2日	36人	10.0日	31人	11%	14%



(a) 装着状況



(b) 挿入状況 (D35_上向き)



(c) 落橋防止構造取付け後

写真2 落橋防止構造のあと施工アンカー工に「アンカー留太郎®」を適用した状況

*技術研究所 構造研究部 **大阪土木本店工事部

技術特集 3. “折返しプレート式座屈拘束ブレース” 技術性能証明の取得

Technical Performance Certification of Folded Plate Buckling Restrained Brace

奥野陸人* 波田雅也* 村井克綺* 竹内健一**

—概要—

“折返しプレート式座屈拘束ブレース Folded Plate Buckling Restrained Brace (以下、FP-BRB®)”は、当社技術である折返しブレース®の折返し機構を応用した新たな座屈拘束ブレースである。FP-BRB®はダンパー部と支持材で構成され、主架構とは一般的な接合部を介して接続することができる(図1)。また、ダンパー部の構成は、断面の異なる9枚の鋼板(芯板1枚、中板6枚、外板2枚)を、鋼板の両端部に設けるプレートを一筆書きの要領で折返し接合させている(図2)。

本研究にて漸増载荷による実験(写真1)を実施した結果、FP-BRB®が実建物想定の間変形角1/500radで降伏して、1/50radまで安定した履歴を描き(図3)、優れたエネルギー吸収性能を発揮することを確認した。なお、本研究は東亜建設工業(株)・(株)名構設計との共同研究成果の一部であり、この実験結果を基に、2025年10月に日本ERI(株)の技術性能証明を共同取得している。

—技術的な特長—

FP-BRB®の特長は、鋼材を折返すことにより、各々の鋼材に作用する軸力(圧縮・引張)が互いに反転するため、圧縮力を受けている鋼材(圧縮材)を、引張力を受ける鋼材(拘束材)が押し戻すことによって座屈を防止する座屈拘束機構を有している。また、ダンパー部の断面積および長さ(折返し位置)を調整することで、耐力と剛性を自由に調整することが可能である。

ダンパー部の製法は、構成部材がすべて鋼材(板)であり、鋼板を重ねて両端部を互い違いに溶接する単純な製作方法であるため、特殊な加工や溶接方法を必要としないことも特長である。

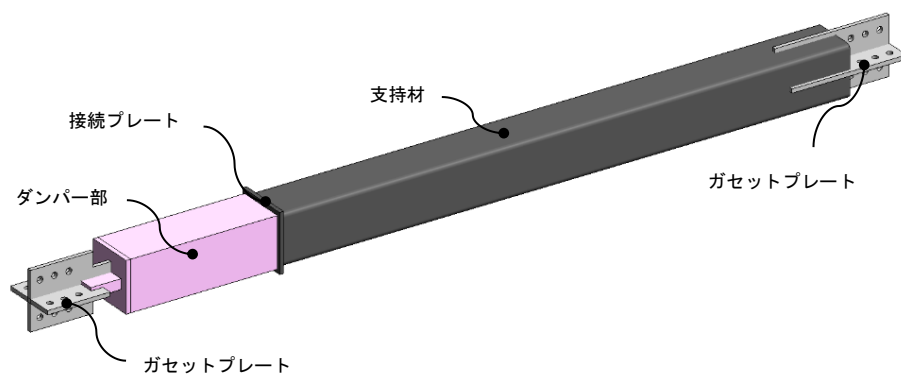


図1 ブレース全景パース



写真1 実験状況

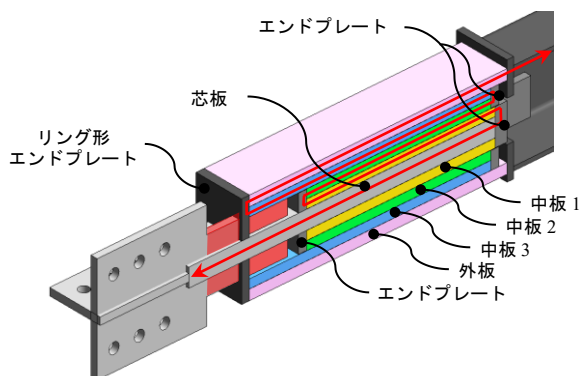


図2 ダンパー部詳細パース

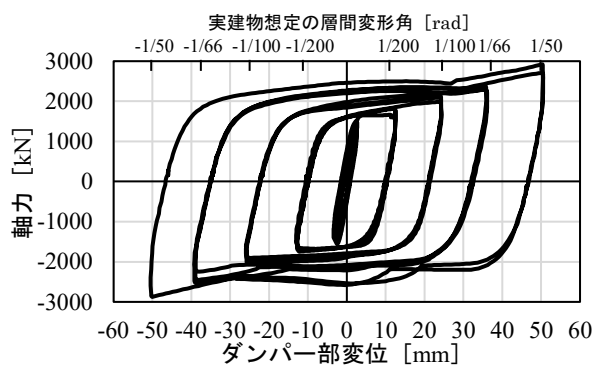


図3 ダンパー部軸力-変位関係

*技術研究所 構造研究部 **建築生産本部 設計部

3. 社外発表論文一覧 (2025年1月～2025年12月)

(1)社外発表論文（査読有）一覧（2025年1月～2025年12月）

講演者（共著者） 下線：青木あすなる建設所属	論文タイトル	発表誌名	発行年月 掲載頁
山崎 彬	接着系あと施工アンカーの耐力評価式の比較と長期耐久性に関する研究事例	コンクリート工学 レビュー論文 Vol.63, No.2	2025.02 pp.157-166
高橋祐一 (村井克綺、新田 稔、松田信広)	再生骨材の品質が高炉スラグ微粉末を高含有したコンクリートの圧縮強度に及ぼす影響の評価に関する検討	コンクリート工学 学会年次論文集 Vol.47, No1	2025.07 pp.798-803
柳田佳伸 (寺内将貴)	2種の降伏機構を有する露出柱脚の降伏メカニズムに関する研究	日本鋼構造協会 鋼構造年次論文 第 33 回	2025.11 pp.695-707

(2)社外発表論文（査読無）一覧（2025年1月～2025年12月）

講演者（共著者） 下線：青木あすなる建設所属	論文タイトル	発表誌名	発行年月 掲載頁
殷 照洙 (梶原 陸、中川茅乃、落合裕正、足立雅樹、森河由紀弘、野口晋平、秦 浩司、中野 暁、細谷幸恵、亀山真由美)	土壌中多成分PFAS診断法による国内土壌の評価：土壌から地下水への移行及びその土壌の残留PFAS	第 4 回環境化学物質合同大会	2025.07 pp.301-302
中川茅乃 (梶原 陸、落合裕正、足立雅樹、森河由紀弘、野口晋平、秦 浩司、中野 暁、細谷幸恵、亀山真由美、殷 照洙)	NARO202201土壌分析法による国内土壌における多成分PFASの実態解明	第 4 回環境化学物質合同大会	2025.07 pp.711-712
落合裕正 (湊 太郎)	建設発生土を用いた試験盛土の電気的性質	第 60 回地盤工学研究発表会	2025.07 22-3-4-01
中川茅乃 (落合裕正、野口晋平、秦 浩司、殷 照洙)	土壌中PFAS多成分一斉分析法の評価	第 60 回地盤工学研究発表会	2025.07 24-2-1-08
梶原 陸 (足立雅樹、森河由紀弘、秦 浩司、殷 照洙)	国内土壌における多成分PFASの実態解明	第 60 回地盤工学研究発表会	2025.07 24-2-1-09
山本一貴 (張 広鋒、牧山太祐、須田郁慧、山崎 彬、下村将之)	橋梁に用いる横変位摩擦ダンパーのモデル化及び解析手法の検討	第 28 回橋梁等耐震設計シンポジウム	2025.07 pp.237-242
毛利彰仁 (廣藤義和、山田雅裕、岸本豪太、新田 稔、鈴木好幸、親本俊憲、住 学、藺井孫文、馬場朝之、柳田淳一、岡村宏一)	アジテータ車ドラム内のコンクリート空気量の連続管理技術 その1 技術の概要と空気量測定装置の特徴	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.341-342
山田雅裕 (毛利彰仁、廣藤義和、大賀智史、山崎順二、鈴木好幸、親本俊憲、住 学、藺井孫文、馬場朝之、柳田淳一、岡村宏一)	アジテータ車ドラム内のコンクリート空気量の連続管理技術 その2 各種コンクリートへの適用検討	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.343-344
安田正雪 (廣藤義和、毛利彰仁、山田雅裕、新田 稔、鈴木好幸、親本俊憲、藺井孫文、住 学、馬場朝之、柳田淳一、岡村宏一)	アジテータ車ドラム内のコンクリート空気量の連続管理技術 その3 小型傾胴ミキサへの適用検討	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.345-346
高橋祐一 (村井克綺、新田 稔、吉野 玲、伊藤 淳、五百藏沙耶、山下紘太郎、川又 篤、古川雄太、松田信広、岸本豪太、井出朋孝、清水啓介)	再生骨材の実製造プロセスにおけるCO ₂ 固定量に関する研究 その3 XRD/リートベルト分析結果とCO ₂ 固定能力の評価	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.421-422

講演者（共著者） 下線：青木あすなる建設所属	論文タイトル	発表誌名	発行年月 掲載頁
古川雄太 (<u>村井克綺</u> 、新田 稔、鈴木好幸、 伊藤 淳、住 学、高橋祐一、 松田信広)	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブコンクリートの基礎検討 その1 検討概要とモルタル実験計画	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.457-458
岸本豪太 (<u>林 晴佳</u> 、鈴木好幸、 五百蔵沙耶、唐沢智之、古川雄太、 松田信広、金子 樹)	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブコンクリートの基礎検討 その2 高炉スラグ微粉末高含有モルタルのフレッシュ性状に及ぼすアルカリ刺激材および再生細骨材の影響	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.459-460
新田 稔 (<u>林 晴佳</u> 、吉野 玲、山下紘太郎、 高橋祐一、川又 篤、井出朋孝、 清水啓介)	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブコンクリートの基礎検討 その3 高炉スラグ微粉末高含有モルタルの圧縮強度に及ぼすアルカリ刺激材の影響	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.461-462
清水啓介 (<u>村井克綺</u> 、吉野 玲、 山下紘太郎、川又 篤、古川雄太、 松田信広、井出朋孝)	再生骨材および製造時の副産物を活用したカーボンネガティブコンクリートの基礎検討 その5 コンクリート実験とCO ₂ 排出量試算結果	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.465-466
山下紘太郎 (<u>村井克綺</u> 、河野政典、菌井孫文、 唐沢智之、古川雄太、清水啓介)	各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの性状 その22 膨張コンクリートの性能	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.653-654
唐沢智之 (<u>林 晴佳</u> 、新田 稔、五百蔵沙耶、 高橋祐一、岸本豪太、金子 樹)	各種使用率で高炉スラグ微粉末を混和材として用いたコンクリートの性状 その23 塩化物イオン浸透抑制の性能	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.655-656
<u>村井克綺</u> (鈴木好幸、 <u>霧見淳也</u> 、 大屋戸理明、川又 篤、清水啓介)	高炉スラグ微粉末を混和剤として用いたFc48N/mm ² レベルのコンクリートの性状 その3 室内実験における圧縮強度	日本建築学会大会 学術講演梗概集 材料施工	2025.07 pp.685-686
<u>土田堯章</u> (<u>波田雅也</u> 、 <u>上田英明</u> 、北嶋圭二)	設置後20年が経過した外付け制振ブレースの「摩擦ダンパー」性能確認試験 その2 40tfダンパーの経年劣化	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 II	2025.07 pp.683-684
中館良太 (小出祐輝乃、谷内颯真、 <u>波田雅也</u> 、北嶋圭二)	滑り基礎構造建物の2方向振動台実験 その5 マルチディンプルを有する試験体の実験概要と基礎板単体の実験結果	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 II	2025.07 pp.869-870
小出祐輝乃 (中館良太、谷内颯真、 <u>波田雅也</u> 、 北嶋圭二)	滑り基礎構造建物の2方向振動台実験 その6 マルチディンプルを有する上屋付き滑り試験体の実験結果	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 II	2025.07 pp.1067-1068
吉井浩人 (寺内将貴、 <u>諸沢証治</u> 、 <u>生島優花</u>)	T型梁の有効幅を確保したRC-CLT合成スラブの提案	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.149-150
吉原 楽 (唐澤侑太、 <u>波田雅也</u> 、北嶋圭二)	木造多層建物への次世代制震構造システムの有効性に関する研究 その2 骨組試験体の制振構造検討および架構実験	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.495-496
唐澤侑太 (吉原 楽、 <u>波田雅也</u> 、北嶋圭二)	木造多層建物への次世代制震構造システムの有効性に関する研究 その3 試作した連層耐震壁脚部の回転摩擦ダンパーの実験	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.497-498
永良太郎 (<u>諸沢証治</u> 、老藤慎也、笹井和也、 西村 真、榎本将弘、進藤麻依子、 田中 剛)	上階H形鋼柱・下階角形鋼管柱梁接合部の実験的研究 その2 実験結果	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.1255-1256
進藤麻依子 (<u>諸沢証治</u> 、山内豊英、古谷祐希、 武重志門、徐 光、森 誠司、 田中 剛)	上階H形鋼柱・下階角形鋼管柱梁接合部の実験的研究 その3 耐力評価	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.1257-1258

講演者（共著者） 下線：青木あすなる建設所属	論文タイトル	発表誌名	発行年月 掲載頁
波田雅也 (関 祥太、塚田 響、奥野陸人、 竹内健一、北嶋圭二)	中鋼管降伏タイプの折返しブレースの構造特性に関する実験的研究 その5 片掛け配置用に長尺化した中鋼管降伏タイプの実験概要	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.1453-1454
関 祥太 (塚田 響、奥野陸人、波田雅也 竹内健一、北嶋圭二)	中鋼管降伏タイプの折返しブレースの構造特性に関する実験的研究 その6 片掛け配置用に長尺化した中鋼管降伏タイプの実験結果	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.1455-1456
柳田佳伸	最下層に柱脚を有する鋼構造梁降伏型鋼接骨組の損傷分布 その5 柱脚の復元力特性に着目した骨組みの損傷予測の検討	日本建築学会大会 学術講演梗概集 構造 III	2025.07 pp.1569-1570
原 英嗣 (岡田 怜、田中千歳、横内 基、 寺内義典、森川禎二郎、江口司津 佐藤介一、竹内健一)	市営住宅団地の移転前後における住宅の環境性能変化に関する研究 第3報 移転前後におけるアンケート調査	日本建築学会大会 学術講演梗概集 環境工学	2025.07 pp.2157-2158
野村健流 (岡田 怜、原 英嗣、田中千歳 横内 基、寺内義典、森川禎二郎、 江口司津、佐藤介一、竹内健一)	市営住宅団地の移転前後における住宅の環境性能変化に関する研究 第4報 移転後における住宅団地の環境性能評価	日本建築学会大会 学術講演梗概集 環境工学	2025.07 pp.2159-2160
河添夏葵 (寺内義典、横内 基、原 英嗣 田中千歳、森川禎二郎、竹内健一)	F住宅団地における自主管理の庭空間に関する調査 市営住宅団地移転における中間領域とコミュニティに関する研究 (その1)	日本建築学会大会 学術講演梗概集 建築計画	2025.07 pp.291-292
山田淳越 (片岡孝文)	クレーンバイブレーターによるラーメン高架橋柱コンクリートの施工	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 IV-45
岡 流聖 (谷口克彦、中須幹夫)	撥水剤添加コンクリートにおける2次製品に関する研究	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 V-416
廣藤義和 (駒田憲司、岡村宏一、水野浩平、 柳井修司)	アジテータ車に積載したコンクリート空気量の連続管理技術	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 V-535
石原裕次 (宮川大和、関 七美、山崎正則、 濱本悦雄、嘉倉瑠那、杉山 新)	AI配筋検査端末の活用及び鉄筋出来形計測・検査業務DX化による効率化検証	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-130
高橋裕之 (高木将光、廣松直人、板倉 徹、 宗 文晴、佐久間 昭)	国道及び発電所進入路直下における大断面NATMトンネルの施工について	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-616
宮野 輝 (水野博和、高尾智仁)	大型風力発電設備基礎におけるアンカーボルト設置工の施工精度確保	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-640
梅津勇樹 (石井孝明)	自立飛行ドローンを使用したガス検知システムの検証	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-786
張 旻起 (岩田航司、津留忠行、宮脇義浩)	ドローン空撮による立木調査の実施検証報告	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-810
塚本 豊 (駒田憲司、倉垣篤志、長瀬敏式、 下間善文、長谷川堅一)	亜硝酸リチウム内部圧入工のコンクリート表面含水率への影響	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-890
古木裕章 (三浦智和、津田将也、木越健二、 高野由輝)	橋梁下部工梁部施工における特殊支保工の構造変更実施について	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-1062
佐藤友哉 (岩田航司、佐々木 幸、 永田大祐、森川倫朗、松木 健、 深町友祐)	チャットボットを利用した生産性向上	令和 7 年度土木学会 全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-1089

講演者（共著者） 下線：青木あすなる建設所属	論文タイトル	発表誌名	発行年月 掲載頁
猪原幸司 (細見耕一)	水陸両用ブルドーザの施工の見える化への取組	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-1096
廣松直人 (高木将光、佐々木 幸)	LiDARを用いたインバート施工の効率化	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-1210
藤山凌多 (細見耕一、内海了輔、小笠原 司、飯塚尚史)	輪島市門前町漁港応急復旧工事における水陸両用機械による漁港航路・泊地浚渫について	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 VI-1256
小田切菜摘 (小川輝幸、田口純也、山田淳越、李 耿奎)	Civil3D及びレーダースキャナの活用について	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 CS9-47
村田康平 (駒田憲司、佐藤俊男)	覆工コンクリートの打設を想定した非接触式打込み高さ側転方法の実用化に向けた検討	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 CS9-67
山本一貴 (張 広鋒、牧山大祐、須田郁慧、波田雅也、山崎 彬、下村将之)	横変位摩擦ダンパーを用いた橋梁耐震補強の解析手法の検討	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 CS10-21
土田堯章 (波田雅也、山崎 彬、下村将之)	ダイス・ロッド式摩擦ダンパーの低温時性能に関する実験的研究	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 CS10-76
町永正樹、 (飯塚尚史、浦田隆司)	水陸両用ブルドーザーから進化した水中施工ロボットが活躍する「未来の水中工事」	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 CS15-08
山崎 彬 (波田雅也、下村将之、牧山大祐、須田郁慧、山本一貴、張 広鋒)	横変位摩擦ダンパーの横変位拘束構造としての耐力確認試験	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 11AM2-We-12
下村将之 (波田雅也、山崎 彬、牧山大祐、須田郁慧、山本一貴、張 広鋒)	横変位摩擦ダンパーの両端スライド部のすべり性能確認試験	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 11AM2-We-14
木之下 健太郎 (榮 淳一、竹中友彦、太田幸孝、滝沢 仁)	超大型ボックスカルバートの目地部の施工について	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 11AM1-So-09
谷口克彦 (岡村宏二、正木今日太、新村 稔)	打継処理の定量的評価に関する検討	令和 7 年度土木学会全国大会第 80 回年次学術講演会	2025.08 12PM2-Pe-12
山本一貴 (張 広鋒、牧山大祐、須田郁慧、波田雅也、下村将之)	可動支承の橋軸直角方向に適用可能な横変位摩擦ダンパーの開発	第 36 回日本道路会議	2025.10 5076

4. ニュースリリース

ニュースリリースの御紹介

青木あすなる建設株式会社が取得した技術等に関する記事をニュースリリースとして御紹介致します。

1.取得した特許（2025年1月～2025年12月）

- (1) 発明の名称「鋼材ダンパー」※
登録日：2025年1月29日
- (2) 発明の名称「鋼材ダンパー」※
登録日：2025年3月3日
- (3) 発明の名称「制震構造体」
登録日：2025年5月12日
- (4) 発明の名称「静電容量による非接触式高さ測定方法及び測定装置」
登録日：2025年9月2日
- (5) 発明の名称「補強部材、建物壁構造および建物壁の施工方法」
登録日：2025年10月7日
- (6) 発明の名称「鋼材ダンパー」※
登録日：2025年12月11日
- (7) 発明の名称「鋼材ダンパー」※
登録日：2025年12月11日

※(1),(2),(6),(7)は同一名称での特許取得

2.取得した技術（2025年1月～2025年12月）

- (1) 日本 ERI 株式会社の構造性能評価を取得
技術名称「折返しプレート式座屈拘束ブレース」
登録番号 ERI-K25001 登録日：2025年10月20日
- (2) 一般財団法人日本建築総合試験所の建築技術性能証明を取得
技術名称「床 CCB・NAC 工法」
登録番号 第 25-32 号 登録日：2025年12月23日

3.技術研究所に関する記事（2025 年 1 月～2025 年 12 月）

- (1) 「CO₂ 7 割程度削減 環境配慮コンクリに再生骨材」（日刊建設工業新聞）
「環境配慮コンクリ 再生骨材使用を実用化」（日刊建設通信新聞）
「再生骨材に CO₂ 固定 BFCCU 研環境配慮コンに利用」（コンクリート新聞）
日刊建設工業新聞（2025 年 2 月 7 日付）、建設通信新聞（2025 年 2 月 7 日付）、コンクリート新聞（2025 年 2 月 20 日付）にゼネコン 13 社で共同開発した「CELBIC-RA」の記事が掲載された。

- (2) 「首都高速 11 号台場線ロッキング橋脚耐震補強工事報告」
（株）建設図書が発行する月刊誌「橋梁と基礎」3 月号にダイス・ロッド式摩擦ダンパーが適用された首都高速道路の耐震補強工事に関する記事が掲載された。

- (3) 「メディアデーでパビリオン公開」
日刊建設工業新聞（2025 年 4 月 11 日付）に大阪・関西万博への CP コンクリートコンソーシアム出展の記事が掲載された。

- (4) 「青木あすなる建設 電氣的性質を利用した複合土質の新しい締め固め管理 盛土の密度測定時間を大幅に短縮」
日刊建設工業新聞（2025 年 4 月 23 日付）「国土づくりを支える技術」に「電氣的性質を利用した複合土質の新しい締め固め管理」の記事が掲載された。

- (5) 「つくばちびっ子博士 2025」
「つくばちびっ子博士 2025」（2025 年 7 月 19 日～8 月 31 日開催）公式サイトに当社研究所見学体験会開催（2025 年 8 月 6 日～7 日）に関する内容が掲載された。

- (6) 「大阪・関西万博 技術と循環の実証が閉幕 未来社会へつながる建設レガシー」
日刊建設工業新聞（2025 年 10 月 15 日付）に環境配慮型コンクリートに関する記事が掲載された。

- (7) 「大阪建築本店県央県南処理施設作業所が 1 等 青木あすなる建設 技術論文発表会」（日刊建設工業新聞）
「事例生かし発展 青木あすなる建設」（建設通信新聞）
日刊建設工業新聞（2025 年 12 月 3 日付）、建設通信新聞（2025 年 12 月 11 日付）に第 22 回技術論文発表会（12 月 1 日開催）に関する記事が掲載された。

4.表彰関連（2025 年 1 月～2025 年 12 月）

(1) 建設技術展 2025 近畿 技術展示部門 「審査委員特別賞」を受賞（2025 年 10 月 31 日）

出展技術：DRF ダンパーを用いた橋梁制震化技術

受賞者：青木あすなろ建設株式会社

主催：日刊建設工業新聞社、（一社）近畿建設協会

5. 特別特集

「“未来の水中工事”出展の軌跡」

2025年9月10日 Z世代対象 日経未来社会共創ゼミ 「未来は変えられる！ ～私たちが取り組む社会課題～」

2025年9月10日、日本経済新聞社と青木あすなる建設の共催で「日経未来社会共創ゼミ」を開催しました。テーマは「未来は変えられる！～私たちが取り組む社会課題～」。会場の日本経済新聞社大阪本社には、全国から66名の大学生・高専生が集まりました。

第一部は、「誰もが活躍・命や暮らしを守る『未来の水中工事』大阪・関西万博で世界に発信」と題した、青木あすなる建設2025大阪・関西万博出展プロジェクトリーダーとサブリーターによる基調講演。「未来の水中工事」を軸に、防災・減災はもとより、再生可能エネルギーやブルーカーボンの推進、また未来の働き方への取り組みなどについて話しました。

第二部は、「未来は変えられる。社会課題に対し、今できること・これから取り組むべきこと」と題した会場全体セッション。まずは参加者が数名ずつのグループに分かれ、それぞれ事前に考えてきたことや、基調講演を聞いて感じたことなどを議論しました。その後、代表して数名の学生が、基調講演を行った2名に向けて疑問点などを質問。未来の当事者となるZ世代らしく、各々が高い関心や危機感を持った活発なやり取りとなりました。



2025年10月13日 大阪・関西万博閉幕 万博出展を経て、 さらなる未来へ

184日間の万博開催期間中、「未来の都市」パビリオンには延べ約190万人が来館しました。「未来の水中工事」展示プレイスの反響も大きく、「面白くてタメになる。子どもも大人も楽しめた」「未来の働き方が変わることを実感、建設業のイメージも変わった。子どもにとって将来の職業の選択肢になる」といった感想や、「実証を進めているリアルな展示で万博らしく、明るい未来を実感した」「目指す方向性、技術力がすごい。期待できる」「社会課題の解決に向け、1日も早い具体化を望む」といった激励が寄せられました。



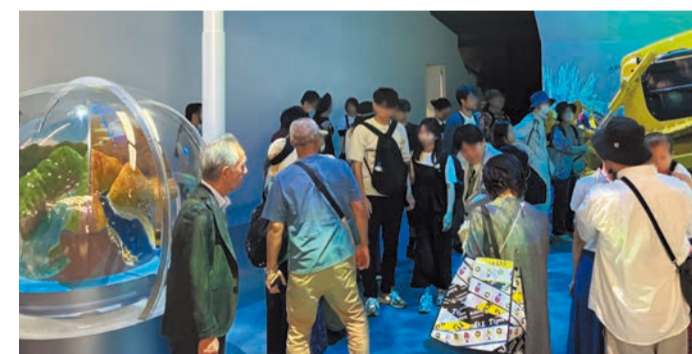
左：水陸両用ブルドーザ、右：水中施工ロボット（コンセプトマシン）



大屋根リング工事 JV 参画



当展示プレイスの責任者は「多くの方の来館に感謝しています。さまざまな出会いがあり、いただいた声にも励まされました。これまで経験したことのない充実した184日間でした」と振り返ります。そして「この出展が、多くの方にとって未来を考え行動するきっかけになれば幸いです。特に未来を担う世代に期待しています」と話します。万博がなければ出会えなかったさまざまなつながりを大切に、ここからが次のスタート。決意新たに、「未来はみんなで変えられる」ことを、これからも実践していきます。



2025年現在、「未来の水中工事」実現に向けて、国内の海岸や河川で「水中施工ロボット」による実証を進めています。実現すれば、誰もがどこからでも活躍。少子高齢化・担い手不足の解決が図られ、未来の働き方が変わります。また、防災はもとより、CO₂を出さない再生可能エネルギー、CO₂を吸収するブルーカーボンの推進等により、地球温暖化・自然災害から命や暮らしを守ります。そんな未来はもう目の前です。ぜひ引き続きご期待ください。



大阪・関西万博「未来の都市」パビリオン 「未来の水中工事」出展の軌跡

青木あすなる建設株式会社は、2025年4月13日(日)～10月13日(月)に開催された2025年日本国際博覧会(大阪・関西万博)において、「未来の都市」パビリオンに出展。コマツと共同で、「未来の水中工事」をテーマにしたプレイスを展開しました。当社はさかのぼること2018年、大阪・関西万博誘致委員会のオフィシャルパートナーに参画したことをきっかけに万博との関わりがスタート。そして万博の開催決定後、企業がすべき社会貢献として「未来を担う子どもたちが未来を考えるきっかけを発信したい」との思いから、博覧会協会のアイデア募集に「未来の水中工事」を応募しました。そこから共同出展者のコマツの賛同を得て、さらに博覧会協会への提案、調整を重ね、出展へと至りました。



「未来の都市」とは



「未来の都市」パビリオンは、万博史上類を見ない、博覧会協会と業界の垣根を越えた協賛12者が共同で創り上げたパビリオン。全長150m、幅約33mという万博会場内屈指の規模を誇る大空間で、地球温暖化、生態系の危機、資源枯渇、地球の汚染といったさまざまな地球課題、社会課題を知り、それらを各社が誇る最先端技術でどのように解決できるのか？ どういった幸せな未来都市を築くことができるのか？ をあらゆる角度から体感できるパビリオンとして人気を博しました。

出展が決定してからというもの、協賛12者、博覧会協会及びクリエイターの間では約2年間にわたり、未来の都市のストーリー構築や展示内容について繰り返し熱い議論が交わされ、さまざまな調整が行われました。そして日を追うごとに、万博がなければ決して出会えなかったであろう関係者間の思いは一つに。「未来はみんなで変えられる」という大きなメッセージを乗せて、好奇心をくすぐる15のアトラクションによる、子どもも大人も楽しみながら学べる展示を実現しました。



「未来の水中工事」展示内容

「誰もが活躍・人々の命や暮らしを守る『未来の水中工事』」をテーマに、水陸両用ブルドーザが時代を超えて進化した水中施工ロボットの大型模型とともに、趣向を凝らした3種類のムービーなどで「未来の水中工事」を紹介。リアル感・わくわく感じっぱいの、面白くてタメになる展示空間を演出しました。

① 大型スクリーンで3編のショートムービー上映

壁面いっぱいの大型スクリーンで、水中施工ロボットが活躍する「未来の水中工事」にまつわる3編のショートムービーをサンドアート、実写、CGを織り交ぜ上映しました。



MOVIE 1 「未来を描く水中工事」

サンドアート(澁漬する砂をモチーフ)で演出「水中工事は進化する」



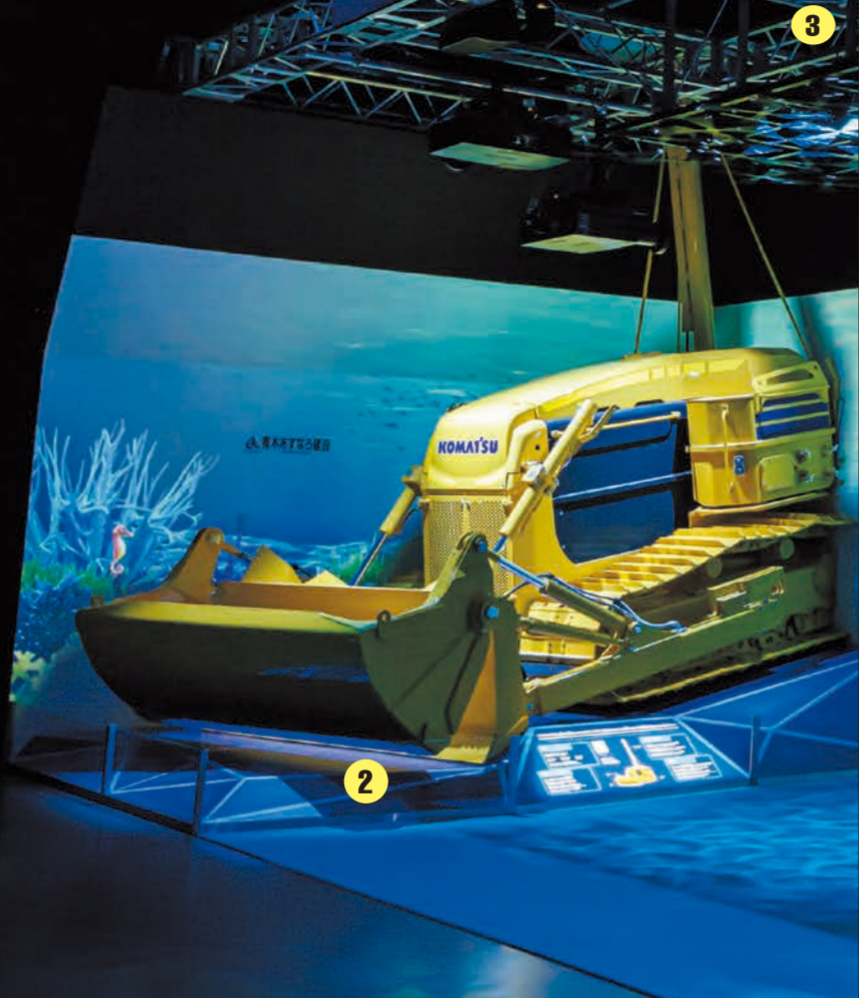
MOVIE 2 「未来につなぐ水中工事」

未来の社会と働き方で演出「未来の働き方は変わる」



MOVIE 3 「未来をつくる水中工事」

未来の地球を舞台に演出「命と暮らしを守る」



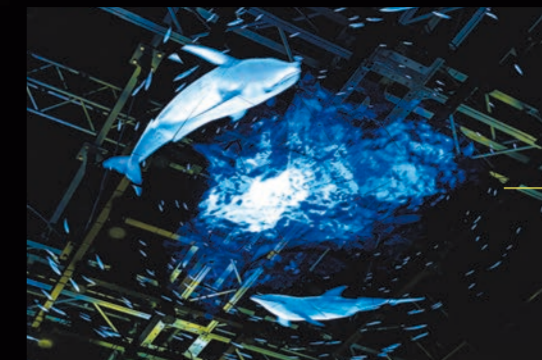
② 水中施工ロボットの大型模型

水中施工ロボットのコンセプトマシンを本物そっくり、精巧に再現した大型模型を展示。実物の70%サイズでありながらも圧倒的な存在感を放ち、大迫力のスケールモデルとして注目を集めました。



③ 3Dディスプレイによる水中体験

頭上には3Dディスプレイを設置し、水中工事によりもたらされた豊かな海と、そこに生息する水中生物たちの様子を投影。ムービー上映の合間には、水中動物がメインスクリーンに飛び込むダイナミックな演出も実施。



④ 工事シーンのジオラマ

展示プレイスの入り口には、水中施工ロボットが活躍する工事シーン(川、ダム、海)の模型を設置。小さな水中施工ロボットがゆっくりと回り続ける動きのあるアイキャッチ展示で、来場者を出迎えました。



⑤ インタラクティブ演出

床に海辺の映像を投射。来場者が歩くと砂が広がり、それをどこからともなく現れた水中施工ロボットがきれいに整地します。足跡を追いかけるように動き回るロボットが愛らしく、人気の的に。



青木あすなる建設が目指す「未来の水中工事」とは

これまでの歩み

コマツは、1970年に開催された大阪万博の翌年に、ラジコン操縦の水陸両用ブルドーザの量産を開始しました。青木あすなる建設は、現在も国内で稼働中の5台すべてを所有。東日本大震災の災害復興を含む1,200件以上の水中工事で活用し、知見と施工技術を蓄積してきました。



現在の社会課題

私たちが解決したい社会課題は大きく2つです。一つは、気候変動・地球温暖化の進行により激甚化・頻発化する自然災害への対応。大雨、台風、地震といった自然災害が増えるほど、危険な水際の工事ニーズが増大しています。もう一つは、建設業界の人手不足。現状はもとより、今後さらに少子高齢化による担い手不足が深刻化すると考えられています。

未来の水中工事

社会課題解決に向け、現在青木あすなる建設とコマツは、水中施工ロボットの開発に取り組んでいます。水中施工ロボットは、最新のICT機能・自動制御を備えた電動式。現場から遠く離れた快適なオフィスから遠隔操縦でき、熟練技術も必要としません。誰もが安全かつ容易に扱え、作業の大幅な効率化・迅速化が可能。正に現在の水中工事を一新する、「未来の水中工事」を叶えるロボットなのです。防災・減災、災害復旧はもとより、再生可能エネルギーの推進や藻場・干潟の造成(ブルーカーボン)などによる地球温暖化防止にも貢献。2023年7月のコンセプトマシン完成以降、河川や海岸などで実証を重ねています。

	水陸両用ブルドーザ	水中施工ロボット
最大水深	7m	50m(コンセプト機は7m)
燃料・動力	軽油・ディーゼルエンジン	電動・バッテリー
操縦場所	現場付近で目視で操縦	安全・快適な室内から遠隔操縦
操縦技術	職人技が必要で極めるのが難しい	自動制御システムで誰でも簡単にできる

<水中施工ロボット活躍の場>

- 河川、ダムの堆積土砂を取り除き、災害を防ぐ
- 災害復旧
- 航路の水深を確保し、防波堤をつくり、港を守る
- 水力・洋上風力発電で再生可能エネルギーを推進
- 藻場・干潟を再生、新たな漁場で豊かな海へ(ブルーカーボン生態系の創出)



未来への想いを伝え・広げる

2024年11月~2025年3月

内閣官房事業「EXPO スクールキャラバン」参画

万博開幕前の4か月間、「EXPOスクールキャラバン」(出前授業)として、全国の小中学校9校を訪問しました。「万博」をキーワードに「未来の水中工事」などを紹介し、防災、地球温暖化、未来の働き方などについて質疑応答、ディカッションを実施。予想を超える子どもたちの反応に手応えを感じるとともに、より分かりやすく発信しなければいけないと思いを新たにしました。



水陸両用ブルドーザ模型の操縦体験



- | | | | |
|------|-------------------------------------|------|---|
| ① 福井 | 2024年11月19日
越前町立城崎小学校
4年生 9名 | ⑤ 千葉 | 2025年1月17日
松戸市立馬橋北小学校
5年生 71名 |
| ② 長野 | 2024年11月21日
立科町立立科中学校
2年生 39名 | ⑥ 新潟 | 2025年1月23日
佐渡市立加茂小学校
5年生 24名 |
| ③ 奈良 | 2024年12月4日
生駒市立俣口小学校
4年生 83名 | ⑦ 東京 | 2025年2月5日
江戸川区立第五葛西小学校
4年生 100名 |
| ④ 大分 | 2024年12月13日
佐伯市立切畑小学校
6年生 11名 | ⑧ 東京 | 2025年3月17日
小金井市立小金井第一小学校
6年生 115名 |
| | | ⑨ 東京 | 2025年3月21日
立川市立立川第四中学校
1年生 120名 |

2025年8月5日

未来を描くサンドアートイベント

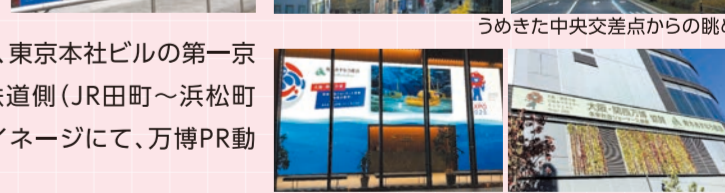
展示プレイスの上映ムービー「未来を描く水中工事」を手掛けたサンドアーティスト・Kohei氏を招き、会場内の「フューチャーライフエクスペリエンス」にてライブペインティングを開催。Kohei氏と青木あすなる建設、砂つながりで実現したムービー及び本イベントは、来場者に深い印象を残しました。さらに、「未来の都市」パビリオン内のコリドールAには、サンドアート体験コーナーを設置。こちらも多くの来場者で賑わいました。



2024年12月~2025年10月

東京本社&大阪本店を万博仕様にラッピング

万博開催に向けた機運醸成のため、青木あすなる建設大阪本店ビルの正面・うめきた中央交差点からの眺め



2024年4月~2025年10月

特設サイト「ミライの水中工事」

「未来の水中工事」の一端を体験できるバーチャル探検ツアーを公開。未来の水中工事コントロールセンターを舞台に水中施工ロボットが活躍する世界を描いたフルCGアニメーションなどを届けました。また、スマートフォンを使った水中施工ロボットと水陸両用ブルドーザのAR体験を提供。建機を実物大または1/10スケールで身近な場所に呼び出して楽しめました。



青木あすなろ建設技術研究所報 Vol.11 2026.4
2026年3月31日発行

編集 青木あすなろ建設株式会社技術研究所
茨城県つくば市要 36-1
電話 029 (877) 1112

発行 青木あすなろ建設株式会社
東京都港区芝 4-8-2
電話 03 (5419) 1011



青木あすなろ建設

TakaMatsu Group