

CSG工法用混合装置 (2重回転式連続ミキサ)の開発

渡辺晋平¹・栗田守朗²・加瀬俊久¹・吉野内眞二³・大前明末¹

¹正会員 清水建設株式会社 土木技術本部 (〒105-8007 東京都港区芝浦1-2-3シーバンスS館)

²正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3-4-17)

³正会員 清水建設株式会社 北陸支店 (〒920-0863 石川県金沢市玉川町5-15)

CSG (Cemented Sand and Gravel の略) とは、建設現場周辺で手近に得られる岩石質材料を、分級・粒度調整、洗浄を基本的に行うことなく、セメント、水を添加し、簡易な設備を用いて混合した材料である。CSG 工法とは、この混合した材料をブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧することによって構造物を築造する工法である。本工法を用いて設計された新しいダム型式が、「台形 CSG ダム」である。

今回開発した新型の CSG 工法用混合装置では、従来のドラム回転式による重力混合と、パドル(羽根)回転式による強制混合の両者を組合せた、2重回転式連続混合方式を考案し、効率の良い混合方式を構築した。

キーワード：CSG, 台形CSGダム, 混合装置, 2重回転式連続ミキサ

1. はじめに

CSG (Cemented Sand and Gravel の略) とは、建設現場周辺で手近に得られる岩石質材料を、分級・粒度調整、洗浄を基本的に行うことなく、セメント、水を添加し、簡易な設備を用いて混合した材料である。

CSG 工法とは、この混合した材料をブルドーザで敷均し、振動ローラで転圧することによって構造物を築造する工法であり、(財)ダム技術センターが本工法を開発・推進している。本工法を用いて設計された新しいダムの型式が、「台形 CSG ダム」であり、『材料の合理化』、『設計の合理化』、『施工の合理化』を目的としている。図-1 に台形 CSG ダムの標準断面を示す¹⁾。

施工設備の合理化の観点から、CSG の混合装置については、これまで多くの装置が開発されてきた¹⁾。今後、全国各地で台形 CSG ダムの建設が見込まれており、性能の良い CSG 混合装置が求められる状況にある。当社は、以前から CSG 工法用混合装置の開発に取り組んでおり、今回、「新しい混合の概念」を導入した新型混合装置を開発した。本報告では新型混合装置の開発の経緯、新型装置の実証試験結果等について述べる。写真-1 に開発した2重回転式連続ミキサを示す。

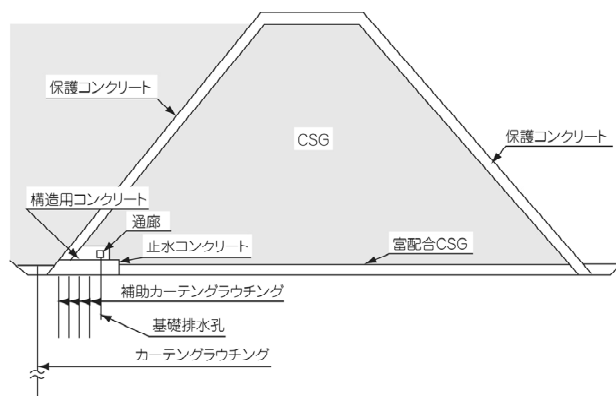


図-1 台形 CSG ダムの標準断面



写真-1 2重回転式連続ミキサ



写真-2 DKミキサ全景



写真-3 上流締切施工状況



写真-4 トンネル坑口部改良工

2. 新型混合装置の開発と経緯

(1) これまでのCSG工法への取組み

当社は、H13年度よりCSG工法用混合設備「DKミキサ」の開発に取組み、鷹生ダム（岩手県発注）における現地実証試験により実用化した。DKミキサは筒型の装置内部に攪拌用の板が設置された「重力式」の混合装置である（写真-2）。その後、ダム上流締切工事（写真-3）、トンネル坑口部改良工（写真-4）に適用を図ってきた。

(2) 新型混合装置開発の経緯

これまでの実績を通じて、DKミキサの課題が明らかになり、実際のダム現場への適用を図るには、混合性能をさらに向上させることが必要であると考えられた。

そこで、以下の2点の開発目標を設定して新型混合装置開発に取組んだ。

① CSG混合性能の確保

短時間の混合で可傾式ミキサと同等以上の強度を確保できること

② CSG製造能力の確保

100m³/h以上の製造能力を確保できること

従来の各種材料の混合機は、ドラム回転式などによる重力混合と、パドル（羽根）回転式による強制混合に大別される。両者を組合せた、2重回転式

（回転ドラムによる重力混合＋パドル羽根による強制混合）とすることにより、効率の良い混合方式となると考えられた（図-2、写真-5）。

本方式では、パドルとドラムが逆方向に回転する。パドルで攪拌した材料は、ドラムの回転により素早くパドルの攪拌位置に戻され、混合効率を向上させる機構となっている。

(3) 新型混合装置の概要

表-1 に2重回転式連続ミキサの仕様を、図-3 にCSG混合プラントを示す。受入ホッパーにCSG材を投入し、ベルトコンベア上を流れるCSG材にセメントと水を供給し、2重回転式連続ミキサに投入、混合する仕組みである。ベルトコンベア上でCSG材を連続的に計量し、それに応じて所定量のセメントと水を供給する。CSG材とは、原材料を所定の最大粒径以下に調整した材料を示す。

写真-6～11 にCSG混合プラント全景、投入～排出までの状況を示す。混合装置の機構上の特徴を以下に示す。

- ① 動力を利用した連続式混合装置である
- ② ドラムは0～10rpm、パドルは0～38rpmで調節が可能
- ③ ドラム・パドルが互いに反対方向に回転する
- ④ パドルの向きは任意の角度で取付可能
- ⑤ ドラムとパドルの回転軸は偏心している。両者の回転により投入口から入ったCSG材・セメント・水は混合されながら排出口側へ送られる

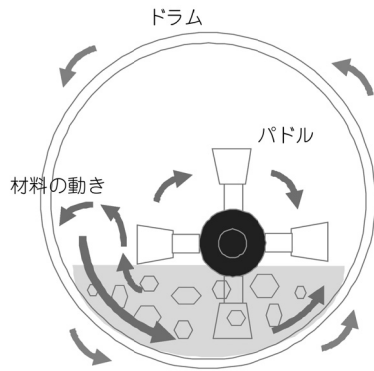


図-2 混合の模式図

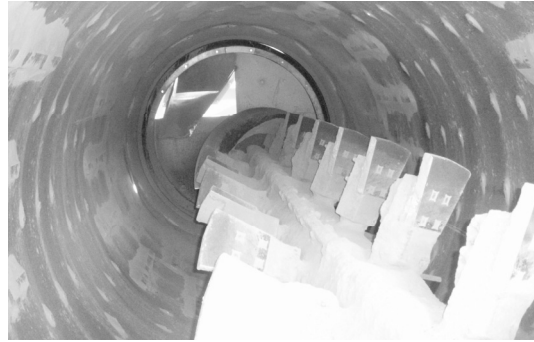


写真-5 混合装置内部

表-1 2重回転式連続ミキサの仕様

回転ドラム仕様	
ドラム内径×長さ	φ1800×4200L
回転数及び回転方向	10rpm(進行方向に向かって右周り)
動力	37kw×220V
駆動方式	チェーン駆動
処理能力	100m ³ /h
支持方式	ローラ (φ400×145L)×4箇所 スラストローラ (φ250×90L)×2箇所
インバーター制御	37KW×220V
パドル仕様	
ミキサー外径×ピッチ×条数	φ1100×P1000(二条)
回転数及び回転方向	38rpm(進行方向に向かって左周り)
動力	45KW×220V×4P×1/20
駆動方式	チェーンカップリング駆動 チェーン駆動
処理能力	100m ³ /h
支持方式	ベアリング ブランマブロック(φ135)
パドルチップ	寸法
	30t-220-220
	個数
	36ヶ

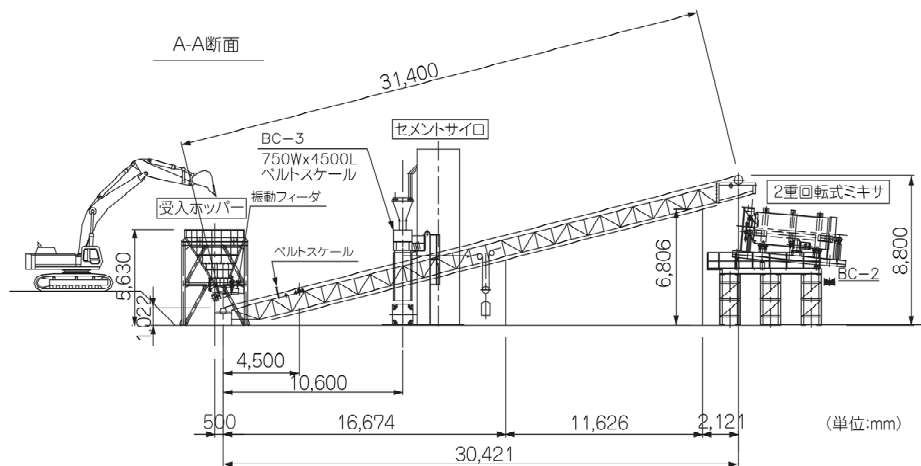
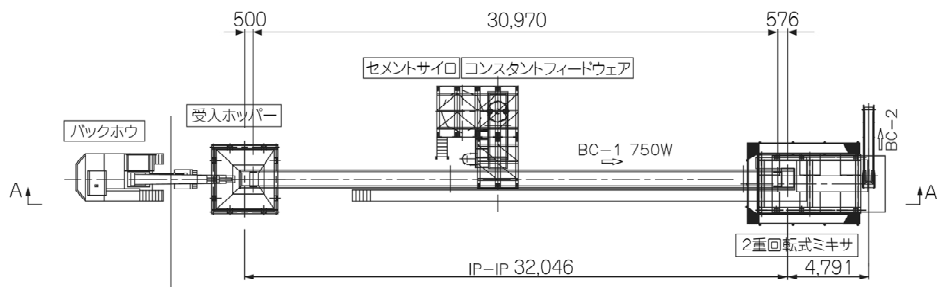
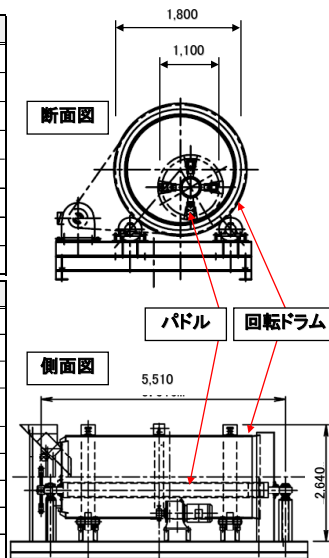


図-3 CSG 混合プラント



写真-6 CSG 混合プラント全景



写真-7 受入ホッパーへの投入



写真-8 混合前



写真-9 ミキサへの投入



写真-10 混合状況 ドラムとパドルが逆方向に回転

3. 模型実験

(1) 模型実験の目的

今回開発した2重回転式連続ミキサの回転ドラムとパドルの回転数や、パドルの取付角度等が混合性能に及ぼす影響把握するため、実機の1/6模型を製作し実験を行った。実験の目的は、製造能力確保と混合性能向上を両立する条件の検討である。

(2) 模型実験の概要

模型装置を写真-12に示す。回転ドラム、パドル羽根の回転数、パドル羽根の角度はそれぞれ調整が可能である。表-2に模型実験の試験水準を示す。



写真-11 排出状況

CSG材として「アクリル樹脂球」を用いた。アクリル樹脂球（密度 1.19 g/cm^3 ）は径の異なる $\phi 12\text{mm}$ および $\phi 8\text{mm}$ の2種類を使用した。アクリル

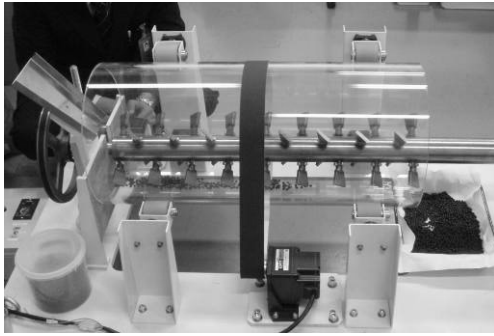


写真-12 混合装置の1/6 模型



写真-13 模型実験状況

樹脂球（以下、粒子と称す）の最大径は、CSG材料における骨材の最大寸法（80mm）の約1/6サイズの $\phi 12\text{mm}$ とした。

実験では、粒子 $\phi 12\text{mm}$ および $\phi 8\text{mm}$ の2種類を5秒間隔で333.5gずつ交互に投入し、排出された粒子を同じく5秒間隔で採取し粒子の平均排出量および平均粒子分布量からの変動の標準偏差を求め評価した。尚、1回の投入量333.5gは実機での目標製造能力 $100\text{kg}/\text{m}^3$ を1/6模型に対する量として算出したものである。実験の観察状況を写真-13に示す。

(3) 模型実験結果

実験結果の一例を図-4に示す。実機での目標製造能力 $100\text{m}^3/\text{h}$ は、本模型実験では平均排出量が333.5gに相当する。すなわち、平均排出量がこの数値に近い、あるいはこの数値以上であれば、製造能力が確保されていることを示している。一方、標準偏差は、平均粒子分布量からの変動の大きさの指標であり、小さいほど混合性能が良好であることを示している。

基本のケースである外周ドラム回転速度8rpm、パドル羽根回転速度38rpm、パドル羽根取付け角度 30° の組み合わせにおける平均排出量と標準偏差に対する各種要因の影響について考察する。

外周ドラム回転速度を停止（8→0rpm）、あるいはパドル羽根回転速度を半減する（38→19rpm）条件とした場合には、粒子の平均排出量が大きく低下し、製造能力が確保できなくなるものと考えられる。また、外周ドラムの回転速度を大きくした（8→30rpm）場合には、排出量は若干増加するものの、標準偏差が著しく大きくなり、混合性能が低下すると考えられる。パドル羽根取付け角度を 30° から 45° に変更した場合、平均排出量および標準偏差ともに若干増加し、製造能力が若干高まるが、混合性能がわずかに低下する傾向が認められた。これらの結果より、基本のケースである外周ドラム回転速度8rpm、パドル羽根回転速度38rpm、パドル羽根取

表-2 模型実験水準

外周ドラム	0, 8, 12, 30rpm
内部パドル	19, 30, 38rpm
内部パドル取付角度 (軸垂直方向)	0° , 30° , 45° , 90°

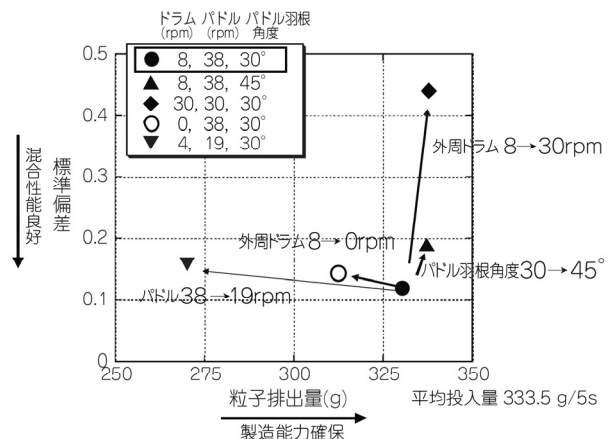


図-4 平均排出量と粒子変動量の標準偏差におよぼす各種要因の影響

付け角度 30° の組み合わせは、製造能力および混合性能の点から、概ね妥当であると考えられた。

4. 実機性能の確認

2重回転式連続ミキサの性能確認のために、以下の項目を実施した。

- ① 製造能力の確認
- ② 混合性能の確認

(1) 製造能力の確認

模型試験の結果に基づき、回転ドラム、パドル羽根の回転数、ならびにパドル羽根取付け角度を調整しながら、実機で製造能力の確認を行った。実際のCSG材料は粘性が大きく、材料の排出に時間を要する状況にあった。そのため、混合機を排出方向に 5° の傾斜をつけて設置した。その結果、混合時間

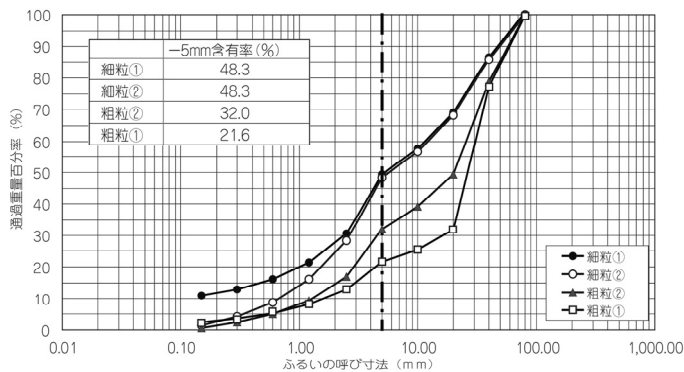


図-5 室内試験の試験粒度分布図

(投入～排出まで)が 25 秒，製造能力は $100\text{m}^3/\text{h}$ 以上を確保することができた。

確認後の仕様は以下の通りである。

- ・ ドラム回転数 8rpm
- ・ パドル羽根の回転数 35rpm
- ・ パドル羽根取付角度 30°
- ・ 設置角度 5° (排出方向を下向き)
- ・ 混合時間 25 秒 (投入～排出まで)

また，併せて混合装置の騒音・振動測定も実施した。騒音パワーレベルが 80dB，振動パワーレベルが 53dB であり，通常のコンクリートプラントに比べて低騒音，低振動であることが確認できた。

(2) 混合性能の確認

混合性能は，可傾式コンクリートミキサを用いた室内混合試験と実機混合試験を行い，供試体圧縮強度で比較を行った。

a) 室内混合試験

試験に用いた材料は，市販の切込砂利を基本とし，これに 30～0mm 材料，ダスト分を混合して室内試験では 4 水準の粒度とした。図-5 に粒度分布を示す。

混合装置は可傾式ミキサ(150L)を用いた。混合時間は，CSG 材とセメントを投入後，各材料が均一になるように 1 分間，水を投入後に 2 分間とした。供試体は，40mm でウェットスクリーニングを行い， $\phi 150\text{mm} \times \text{H}300\text{mm}$ の標準供試体を用いた。締固めは 3 層に分けて実施し，各層において突き棒で 15 回突固めた後，振動タンパにて 30 秒突固めた。試験水準は，単位セメント量 $80\text{kg}/\text{m}^3$ ，単位水量 $80 \sim 120\text{kg}/\text{m}^3$ の 5 水準で実施した。表-3 に室内試験水準を示す。

圧縮強度は，ピーク強度と弾性領域強度（応力ひずみが直線範囲の強度，図-6）の 2 種類を測定した。図-7～10 に，CSG の強度（ピーク強度，弾性領

表-3 室内試験水準

要因	水準数	水準
セメント添加量	1	$80\text{kg}/\text{m}^3$
単位水量	5	$80 \cdot 90 \cdot 100 \cdot 110 \cdot 120\text{kg}/\text{m}^3$
粒度	4	細粒①、細粒②、粗粒①、粗粒②
試験ケース（混合回数）： 1 セメント添加量 $\times$ 5 単位水量 $\times$ 4 粒度 = 20 ケース		

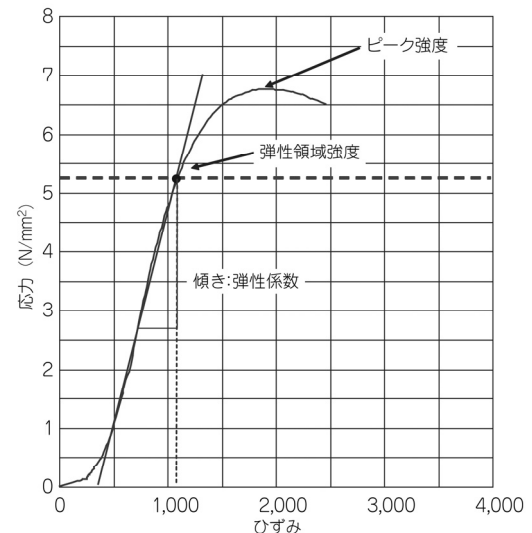


図-6 CSG供試体の応力ひずみ曲線例¹⁾

域強度)と単位水量の関係を示す。細粒①，細粒②においては単位水量 $100 \sim 110\text{kg}/\text{m}^3$ 付近で，粗粒①，粗粒②においては単位水量 $90\text{kg}/\text{m}^3$ 付近で強度のピークを示している。

b) 実機混合試験

新型混合装置である 2 重回転式連続ミキサにて実機混合試験を行い，室内混合試験で得られた強度データとの比較を実施した。

供試体は，室内試験と同様に，40mm でウェットスクリーニングを行い， $\phi 150\text{mm} \times \text{H}300\text{mm}$ の標準供試体を用いた。締固め方法も室内試験と同様にした。試験水準は，単位セメント量 $80\text{kg}/\text{m}^3$ ，単位水量 $90 \cdot 100\text{kg}/\text{m}^3$ の 2 水準で実施した。表-4 に実機試験水準を示す。

実機試験に用いる材料については，再度粒度を確認・調整した。図-11 に実機試験における粒度分布図を示す。なお，実機混合と室内混合での比較は，実機試験の粒度(実機①～実機③)にそれぞれ類似する，室内試験での粒度(細粒①，粗粒①，細粒②)に対応させて実施した。

c) 試験データの比較結果

実機混合試験と室内混合試験の圧縮強度データの

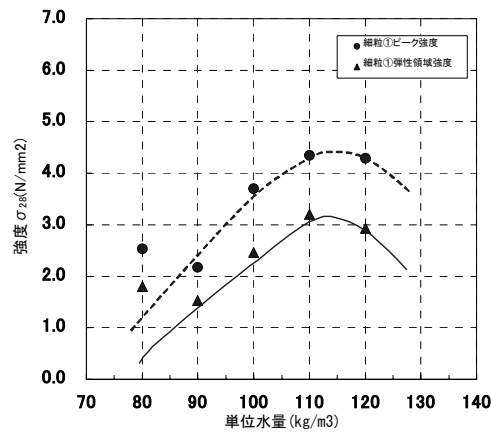


図-7 単位水量と強度の関係
(細粒① 28日強度)

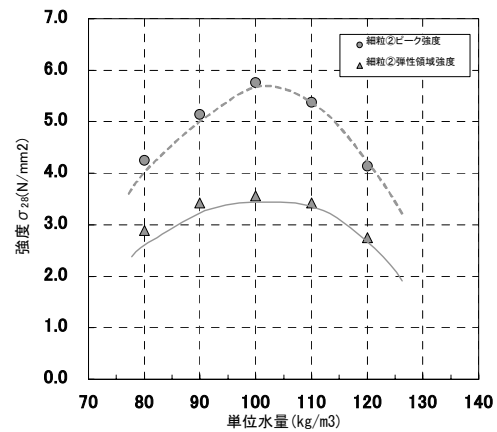


図-8 単位水量と強度の関係
(細粒② 28日強度)

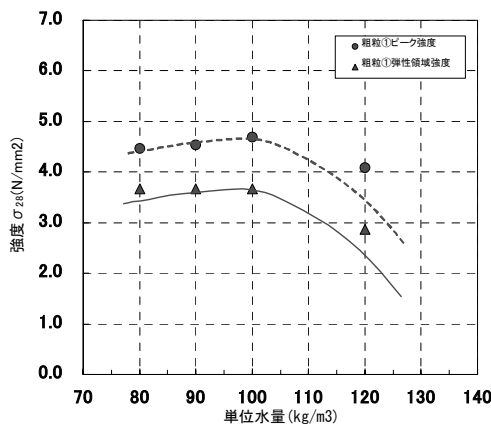


図-9 単位水量と強度の関係
(粗粒① 28日強度)

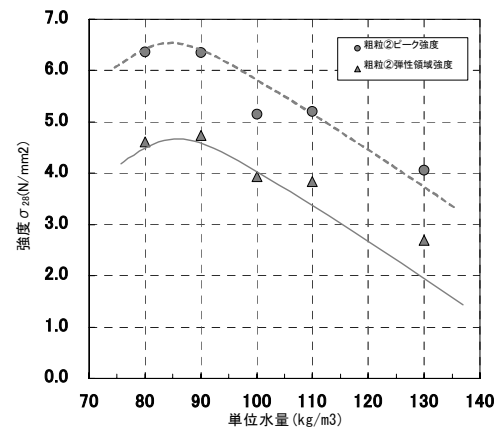


図-10 単位水量と強度の関係
(粗粒② 28日強度)

比較を図-12～17に示す。グラフは各供試体の測定値と平均値の2種類を示している。データは多少前後しているが、概ね、実機試験データは室内試験と同等以上の値を示している。2重回転式連続ミキサは可傾式ミキサと同程度以上の混合性能を有すると判断できる。

(3) 新型混合装置の性能と特徴

今回確認した新型装置(2重回転式連続ミキサ)の性能と特徴を、以下に記す。

- ① 可傾式コンクリートミキサで製造した場合と、同等程度以上の圧縮強度が確保できる
- ② 混合に要する時間は 25 秒であり、コンクリートミキサに比べて短時間(1/4～1/6 程度)で CSG を製造できる
- ③ 100m³/h 以上の製造能力を有する
- ④ 低騒音・低振動の設備である(騒音パワーレベルが 80dB, 振動パワーレベルが 53dB)

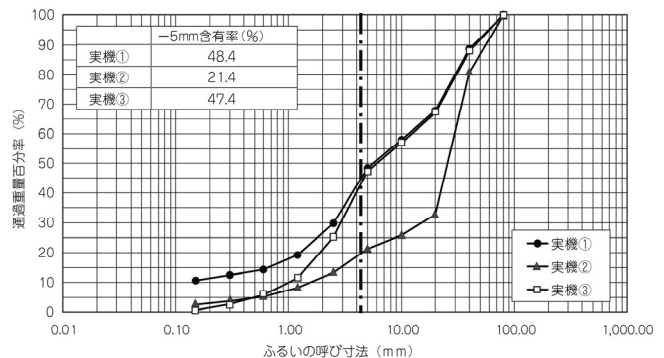


図-11 実機試験の試験粒度分布図

表-4 実機試験水準

要因	水準数	水準
セメント添加量	1	80kg/m³
単位水量	2	90・100kg/m³
粒度	3	実機①、実機②、実機③
試験ケース(混合回数)： 1セメント添加量×2単位水量×3粒度＝6ケース		

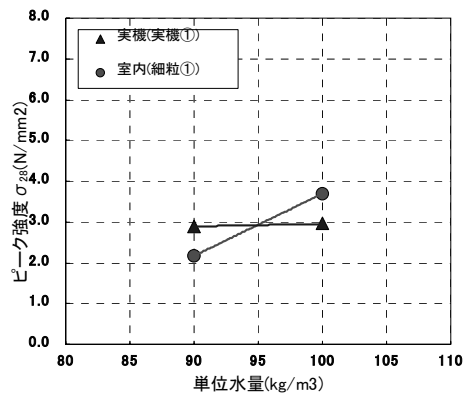


図-12 ピーク強度の比較 (実機①・細粒①)

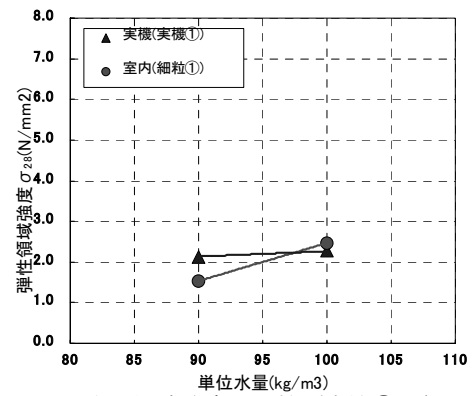


図-13 弾性領域強度の比較 (実機①・細粒①)

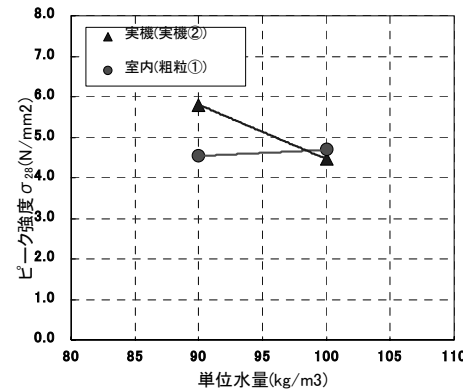


図-14 ピーク強度の比較 (実機②・粗粒①)

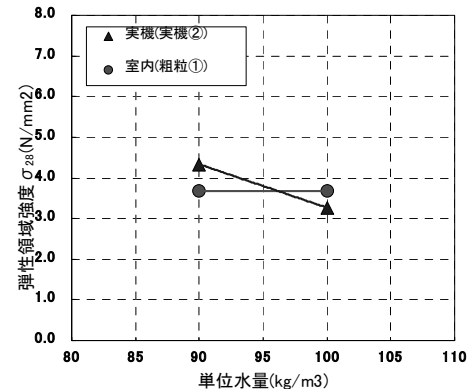


図-15 弾性領域強度の比較 (実機②・粗粒①)

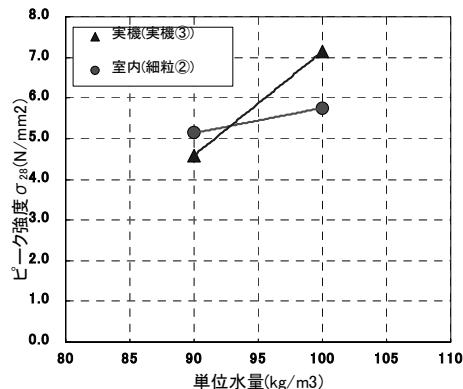


図-16 ピーク強度の比較 (実機③・細粒②)

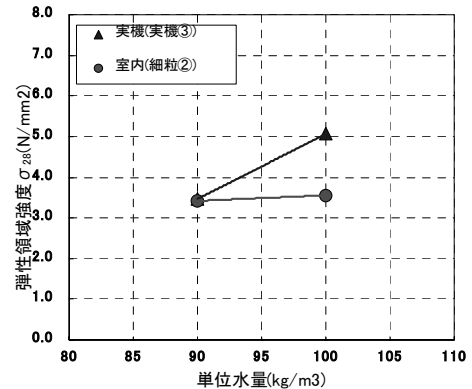


図-17 弾性領域強度の比較 (実機③・細粒②)

5. おわりに

本報告では、新型の CSG 工法用連続式混合装置 (2 重回転式連続ミキサ) の開発経緯と、性能確認試験結果について述べた。今後、全国各地で台形 CSG ダムの建設が見込まれ、より効率の良い CSG 混合設備が求められる状況にある。2 重回転式連続ミキサが、台形 CSG ダムの現場で活躍することを願っている。また、CSG 工法はダム施工技術として開発されたものであるが、現地発生材を利用し低コストで安定した品質が確保できるため、他工種への適用が可能である。様々な現場で 2 重回転式連続ミキサが活躍できれば幸いである。

本装置の開発に当たっては、CSG 混合設備検討委員会座長の廣瀬利雄先生をはじめ、(財)ダム技術センターの藤澤侃彦顧問、(財)日本ダム協会の皆様に多大な助言とご指導を頂戴した。ここに感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 台形ダム技術資料作成委員会，台形 CSG ダム技術資料，2003 年 11 月。
- 2) 財団法人ダム技術センター，台形 CSG ダム施工・品質管理技術資料，2007 年 9 月。
- 3) 梅澤 一，宝示戸恒夫，加瀬俊久，山岡貴司：トンネル坑口部改良工事を CSG 工法で施工，土木施工，Vol. 47 No. 8，pp. 070-077，2006。