

平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会会長賞 受賞業績 (その 3)


 平成 24 年度 一般社団法人日本建設機械施工協会 貢献賞
 

連続・高速・大量 CSG 製造設備の開発と合理化システム —世界初となる台形 CSG ダム—

鹿島建設(株)

業務内容の概要

1. はじめに

当別ダム建設事業本体工工事（北海道）は世界で初めての台形 CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムの本格的な施工である。CSG はダムサイト近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ずりにセメント・水を加えて攪拌・混合したものである。当別ダムの CSG 打設のリフトスケジュールから、月最大打設計画量は約 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 混合設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であった。

2. 開発経緯

既存の φ 700 mmSP ミキサでは製造能力が 80 m³/h 程度であるため、当別ダムでは 6 基以上の設備が必要と想定された。そのため、連続・高速・大量製造への対応と、設備コストや製造手順などを勘案し、1 基当たり 250 m³/h 以上の製造能力を有する φ 1,200 mmSP ミキサを開発した。

3. 開発内容

SP ミキサの使用実績から φ 500 mm ⇒ φ 1,200 mm とすることで断面積が 6 倍で製造能力は約 5 倍 (50 m³/h × 5 倍 = 250 m³/h) になると推定された。また、ある程度の粒度のばらつきがあっても品質を満足し、均一に混合できるしくみも必要なため、新たな混合方法を考案し確認実験を行った。

実験の結果、CSG 材・セメント・水を同時に連続して混合機へ投入すると、水が CSG 材とセメントの均一な混合を阻害する要因の一つとなることが判明した。したがって、「セメントと CSG 材の先行混合」「先行混合後の給水と均一な給水方法」を実現するため、上部 2 連の混合筒は CSG 材とセメントをドライミックスする工程、下部 3 連の混合筒は途中給水を介してウエットミックスする工程とし、それらを組合せた新混合方式とした。

4. まとめ

当別ダムにおいて 2 基の SP ミキサ (φ 1,200 mm × 5 連) を中核とした CSG 製造設備は、不具合もなく順調に製造を継続した。本格製造は 2009 年 6 月から 2010 年 9 月の製

造完了までで、堤体工と雑工（押え盛土工など）を合わせると 11.5 ヶ月（実稼働日数 271 日）で約 69.3 万 m³ の CSG を製造した。日最大 8,500 m³、月間最大 124,000 m³ の製造を成し遂げ、その能力を実証することができた。また、大滝地区地すべり対策工事の CSG 製造設備にも 1 基の SP ミキサ (φ 1,200 mm × 5 連) を導入し、製造を無事完了した。

業務内容

1. 業績の行われた背景

当別ダム建設事業本体工工事（北海道）は世界で初めての本格的な台形 CSG (Cemented Sand and Gravel) ダムを施工する工事である。CSG はダムサイト近傍で容易に入手できる河床砂礫や掘削ずりにセメント・水を加えて攪拌・混合したものである。当別ダムでは、堤体基礎掘削敷並びに堤体直上流に賦存する河床砂礫を使用して約 693,000 m³ の CSG 打設を 11.5 ヶ月で完了する必要がある、CSG 打設のリフトスケジュールから、月最大打設計画量は約 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 混合設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であった。

当別ダムの CSG 製造は連続・高速・大量製造への対応と、設備コストや製造手順などを勘案し、1 基当たり 250 m³/h 以上の製造能力を有する φ 1,200 mmSP ミキサを開発した。

2. 業績の詳細な技術的説明

(1) CSG の用語定義

CSG について以下に用語の定義を示す。

CSG 材：原材料である母材を必要に応じてオーバーサイズの除去等によって所定の最大粒径以下に調整した材料

CSG：CSG 材にセメント、水を添加し混合したもの

(2) CSG 製造設備

CSG 製造設備は、CSG 材・セメント・水の各材料を貯蔵・供給輸送及び計量する設備、それらを混合する CSG 混合装置、製造した CSG を輸送・貯蔵・積込する設備で構成され

ている。CSG 製造設備の混合装置である SP ミキサは、当社を含めた 8 社（独立行政法人水資源機構他）による共同特許技術であり、CSG 混合用に開発した簡易な装置である。

本装置は「CSG 工法用混合設備小委員会（財団法人日本ダム協会）」で承認された 14 機種種の「DK 系ミキサ」の一つであり、DK 系 CSG 混合装置の区分では、「重力・動力併用型で形状がパイプ系」に分類されている。

a. SP ミキサ使用実績

当別ダム工事以前の当社における SP ミキサを用いた CSG 等の製造実績を表一に示す。

表一 1 SP ミキサの施工実績

工事名	製造量	混合筒径	能力
滝沢ダム	17,600m ³	φ500mm	50m ³ /h
稲葉ダム	49,200m ³	φ700mm	80m ³ /h
湯西川ダム	19,500m ³	φ700mm	80m ³ /h

表一に示す各現場で採用した SP ミキサは、混合筒径が φ 500 mm 又は φ 700 mm の 3 連式である。CSG 材、セメント、水を正転・逆転・正転の順に回転する混合筒を通過させ、攪拌・混合製造しいずれも良好な結果を得ている。

(3) φ 1,200 mm SP ミキサの開発

当別ダムの CSG 打設リフトスケジュールから、月最大打設計画量は約 124,000 m³、日最大打設計画量は 7,250 m³ であり、CSG 製造設備には計画上 450 m³/h 以上の製造能力が必要不可欠であったことから、表一に示す従来設備の φ 700 mm SP ミキサでは製造能力が 80 m³/h 程度であるため、6 基以上の設備が必要と想定された。

したがって、連続・高速・大量製造への対応と、設備コストや製造手順などを勘案し、1 基当たり 250 m³/h 以上の製造能力を有する φ 1,200 mm SP ミキサを開発した。

a. 混合方法の開発

CSG 材は、建設現場周辺で容易に入手できる材料を、分級・粒度調整・洗浄を基本的に行うことなく、必要に応じてオーバーサイズの除去や破碎を行う程度であることから、粒度は同一採取地の材料であっても変動する。したがって、CSG 混合装置の開発目標は、「所定範囲内で粒度変化がある材料でも品質を確保できる混合方法」と「CSG 材の粒度変化があっても 250 m³/h 以上の製造能力を安定して確保できる混合方法」とし、これらの実現可能な設備の開発を行った。

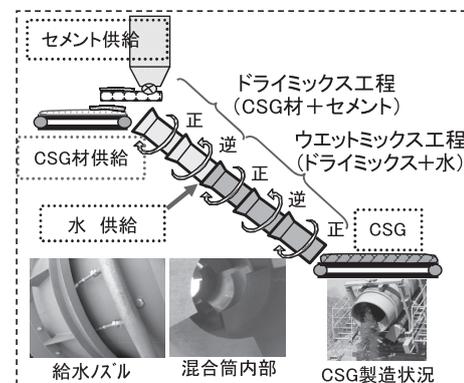
b. 製造能力・品質の確保

SP ミキサの使用実績から φ 500 mm ⇒ φ 1,200 mm とすることで断面積が 6 倍に、製造能力は約 5 倍（50 m³/h × 5 倍 = 250 m³/h）になると推定された。また、ある程度の粒度のばらつきがあっても品質を満足し、均一に混合できるしくみも併せて必要であるため、新たな混合方法を考案・

試験機を製作し満足する結果が得られるまで、実証実験を繰り返し行った。

実験の結果、CSG 材・セメント・水を同時に連続して混合機へ投入すると、水が CSG 材とセメントの均一な混合を阻害する要因の一つとなることが判明した。したがって、「セメントと CSG 材の先行混合」「先行混合後の給水と均一な給水方法」を実現するため、上部 2 連の混合筒は CSG 材とセメントをドライミックスする工程、下部 3 連の混合筒は途中給水を介してウエットミックスする工程とし、それらを組合せた新混合方式とした（図一 1、写真一 1 参照）。

実証試験し製造した CSG から試料を採取して大型供試体を作製し、強度を確認した結果、製造能力は最大で 250 m³/h 以上で所定の強度を有することが確認された。



図一 1 混合筒 5 連方式と各種設備内容



写真一 1 混合筒 5 連方式の SP ミキサ

c. 混合性能向上策

品質を満足しつつ混合性能を向上する開発項目について下記に示す。

① 5 連混合筒の回転

実験によって正転・逆転・正転・逆転・正転方式の有効性を確認し、採用

② 二種類のミキシング工程

実験によってドライミックス+ウエットミックス方式の有効性を確認し、採用

③ 混合羽根の形状

実験によって最適な羽根高さ，幅，据付角度を検証し，設計

④円周式給水ノズル

ドライミックス+ウエットミックス方式の実現のため筒隙間からの給水と均等な水供給方法として円周式給水ノズル方式を考案

d. 付着防止策

比較的細粒分が多く含水比の高いCSG材を投入して混合した場合，付着が品質劣化や製造能力低減の原因となる可能性がある。実施した付着対策を下記に示す。

①ホップ，ライナ，羽根

コンクリート付着軽減ゴムの採用

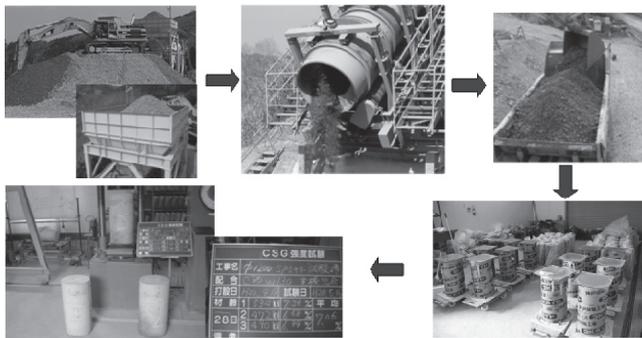
②混合筒内部

エアノッカによる付着物剥離

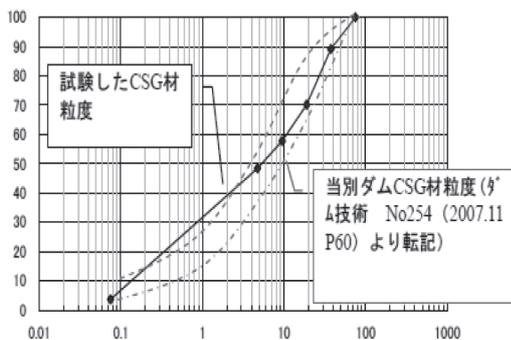
(4) 二種類のミキシング工程方式の有効性

ドライミックス有無の効果を確認するため，実証試験で製造したCSGから試料を採取して大型供試体（写真—2参照）を作製，強度を確認することとした。なお，使用したCSG材は購入した模擬CSG材に砂（細粒材）をブレンドし，当別ダムCSG材粒度に近い状態とした（図—2参照）。

試験結果は，表—2に示すとおりドライミックスありの大型供試体による σ_{28} 強度が，ドライミックスなしの結果より約12%向上する結果となり，ドライミックスの効果を確認することができた。



写真—2 CSG試験製造と大型供試体作製



図—2 試験に使用したCSG材の粒径加積曲線

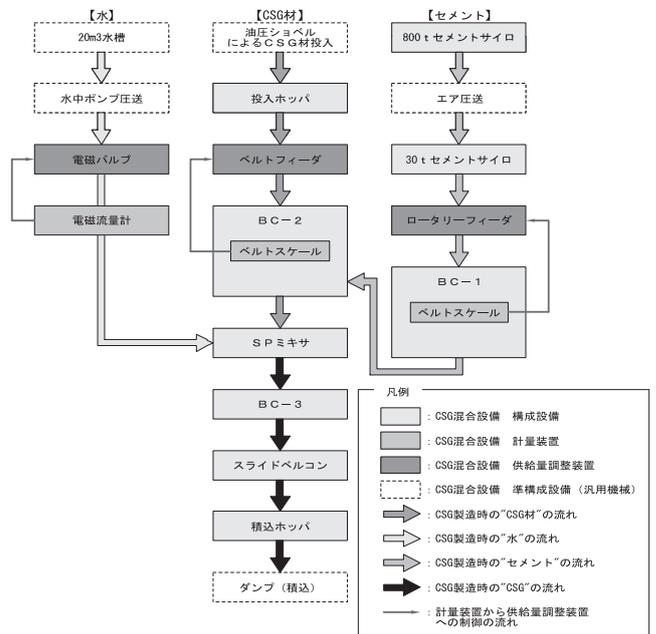
表—2 ドライミックス有/無の σ_{28} 強度結果

試験数	単位 (N/mm ²)	
	ドライミックスなし	ドライミックスあり
1	4.27	4.90
2	4.53	4.84
3	4.25	5.15
4	4.78	5.55
5	4.53	5.35
平均	4.47	5.16

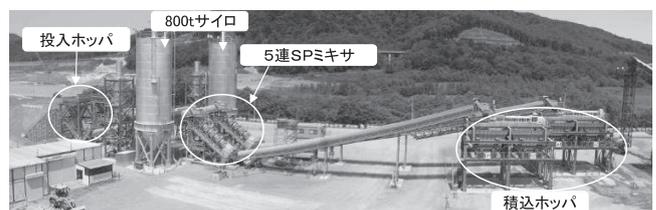
(5) CSG製造設備の製造合理化システム

CSG製造設備の製造フローを下記に示す。

4m³級油圧ショベルで投入ホップに投入されたCSG材は，投入ホップ下部のベルトフィーダで引き抜かれ，ベルトコンベヤを經由してSPミキサへ搬送される。一方，セメントは30tサイロからロータリフィーダで切り出され，ベルトコンベヤ経由でCSG材上に供給される。CSG材とセメントはSPミキサ上部2連でドライミックスされた後，途中給水され下部3連でウエットミックスという工程を経てCSGとなる。SPミキサから吐出したCSGは，さらにベルトコンベヤで移送されスライドコンベヤを經由して積込ホップに一時貯蔵された後，最終的に重ダンプに積込まれる（図—3，写真—3参照）一元管理可能なシステムを考案し，導入した。



図—3 CSG製造設備の製造フロー



写真—3 当別ダムCSG製造設備（全景）

a. CSG 製造総合監視システムの開発

CSG 製造・搬送・一時貯蔵・ダンプ積込を監視する総合監視操作室を設置した(写真—4 参照)。連続運転で品質を確保する上で、各 CSG 製造設備の操作だけでなくセメント輸送設備、CSG 材供給量、セメント供給量、給水量、CSG ホッパへの投入量などすべてをリアルタイムで監視する必要があり、タッチパネル式のコントローラ上で操作と管理を行うことができるシステムを開発した。



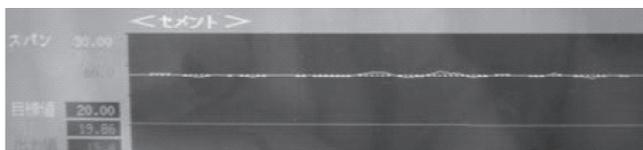
写真—4 CSG 製造総合監視システム

また、CSG 材の水分量確認ができる RI 水分計モニタリングシステムやデジタルカメラ画像解析技術による CSG 材粒度モニタリングシステムを開発導入しており、本システムによって、施工当日の CSG 材の計測値が基準値に対してどのような状態にあるかリアルタイムに監視できるようになった。

b. セメント安定供給手法の確立

セメント供給は 30 t サイロ底部に気密性に優れたロータリフィーダをセメント切出し装置として採用し、切出したセメント量が常時一定になるようロータリフィーダの回転数を制御している。800 t サイロからのセメント圧送による衝撃力の伝搬などにより、ロータリフィーダ内へ降下するセメント密度や供給量が不安定な状態になっていると考えられ、セメント供給量が安定しない状況が発生した。

セメント切出し量を安定させるためには、30 t サイロ内で常に一様な密度のセメントになることが理想的である。したがって、セメントサイロに装着したエアレーション装置の作動時間、間隔やエアレーション圧などの最適パラメータ設定を行うことで、セメント残量に応じてセメント密度を定常的に安定する手法を見つけ、設定供給量に対す



写真—5 セメント供給量監視グラフ(安定時)

る変動誤差 1% 以内を可能とした(特許申請中)。安定時のセメント供給量監視グラフを写真—5 に示す。

c. 確実な CSG 積込設備

CSG 運搬機械には 55 t 級重ダンプトラックを採用して投入台数を削減している。その際に、積込ホッパに貯蔵された CSG を重ダンプのベッセルへ確実に 55 t 積荷できる工夫が必要であった。ホッパによる積込みでは、油圧ショベルによる積込みのように積込んだ後、荷こぼれ防止やベッセル内の均一性確保のためバケットによる「荷押しえ」ができない。

したがって、三次元 CAD でベッセル上の積荷形状をシミュレーションし、最適なホッパゲート数、ゲート間隔の設計を行うことで荷こぼれなく(写真—6 荷姿参照)、確実に 55 t 積荷可能なホッパを導入した。

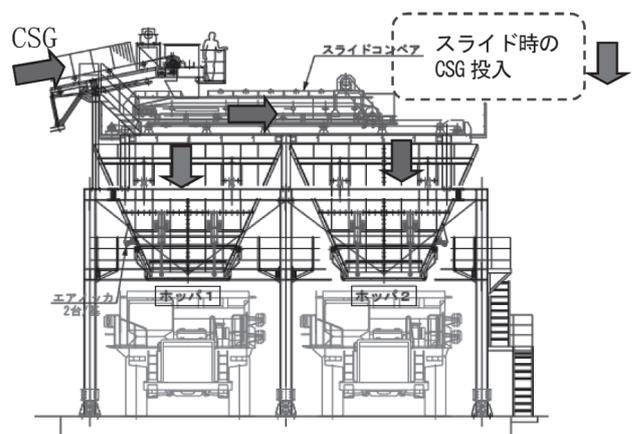


写真—6 55t 重ダンプベッセル荷姿

d. CSG 一時貯蔵・積込設備の工夫

1 基あたり 250 m³/h の速度で連続製造する SP ミキサを停止することなく安定運転するためには、SP ミキサで製造された CSG の搬送設備と積込ホッパ及び重ダンプへの積込手順が連続大量製造と連動したシステムとなっていなければならない。

図—4 に示すように 2 台の CSG ホッパを設けて CSG を



図—4 スライドバルコン式積込ホッパ

交互に一時貯蔵，ダンプ積込を行うシステムを導入した。

各CSGホッパへの投入振分けを担うのがスライド式のベルトコンベヤで，一方のホッパが設定量に達すると自動的に移動し，他方のホッパへCSGを投入する。なお，ホッパにはロードセルを取付けホッパ貯蔵量を管理している。

(6) まとめ

当別ダムで稼働した2基のSPミキサ(ϕ 1,200mm \times 5連)を中核としたCSG製造設備は，不具合もなく順調に製造を継続した。本格製造は2009年6月から2010年9月の製造完了までで，堤体工と雑工(押え盛土工など)を合わせると11.5ヵ月(稼働日数271日)で約69.3万 m^3 のCSGを製造した。日最大8,500 m^3 ，月間最大124,000 m^3 の製造を成し遂げ，その能力を実証することができた。

3. 技術的效果

「所定範囲内で粒度変化がある材料でも品質を確保できる混合方法」と「CSG材の粒度変化があっても250 m^3/h 以上の製造能力を安定して確保できる混合方法」を実現するために開発したSPミキサ(ϕ 1,200mm \times 5連)を導入したCSG製造設備によって得られた効果を下記に示す。

- (1) 細粒分(5-0mm)の含有比率が35~55%で粒度幅のあるCSG材でも品質を満足したCSGの製造が可能となり，粒度変化がある材料でも品質を確保することが可能となった。
- (2) ドライミックス+ウエットミックスの2段階混合によって，表—2に示すとおりドライミックスありの大型供試体による σ_{28} 強度が，ドライミックスなしの結果より約12%向上する結果となり，必要強度を十分満足する良質なCSGを製造することが可能となった。
- (3) ロータリフィーダによるセメント切出し量を安定させるために，セメントサイロに装着したエアレーション装置の作動時間，間隔やエアレーション圧などの最適

パラメータ設定を行うことで，セメント残量に応じてセメント密度を定常的に安定させる手法(特許申請中)の導入により，写真—5に示すとおり設定供給量に対する変動誤差1%以内を可能とし，配合比率以上のセメントを添加することなく多量のCSGを製造することが可能となった。

- (4) ロードセルにてホッパ重量を管理し，重ダンプへ出荷合図するCSG積込制御方式の採用で，CSGの連続製造及び効率的な重ダンプへのCSG出荷を実現することが可能となった。

4. 経済的效果

SPミキサ(ϕ 1,200mm \times 5連)を導入したCSG製造設備によって得られる経済的效果を以下に示す。

- (1) コンクリートの混合設備より簡易な施設で連続的に混合することができるため，1 m^3 当りの製造コストがコンクリートと比較して低コストである。
- (2) SPミキサは細粒分(5-0mm)の含有比率が35~55%で粒度幅のあるCSG材でも品質を満足できた実績から，CSGは建設現場周辺で容易に入手できる材料を分級，粒度調整，洗浄を行うことなく，「粒度変化がある材料」でも品質を確保した製造が可能である。
- (3) SPミキサは35度の設置角度を有した重力・動力併用型の混合装置のため，250 m^3/h の製造能力を有しながら必要動力は37kW(プーリモータ:3.7kW \times 10基)と同能力のミキシング装置(傾胴ミキサ3.0 m^3 \times 3基:120kW相当)と比較すると極端に少ない電力使用量である。
- (4) SPミキサは円筒形の混合筒を5連で組み合わせただけの簡単な構造で，汎用部材の採用と部品点数も少ないことから，メンテナンスも行いやすいため，維持管理が簡便かつ低コストである。

5. 類似工法又は機械との比較

表-3 類似 CSG 製造装置との比較表

項目	SP ミキサ	2 軸バドルミキサ (A 社)	強制 2 軸ミキサ (B 社)
混合方式	重量・動力併用型 (羽根付き混合筒で攪拌と落下)	2 軸バドルミキサ	2 軸強制ミキサ
製造能力	1 基：250 m ³ /h	70 m ³ /h	3 m ³ × 2 台：270 m ³ /h (想定)
寸法・質量	φ 1,200mm × 5 連 運転質量：20 t (サイロ, BC 別途)	L12.5 m × H4.36 m × W2.99 m 運転質量：18.6 t	L8 m × H12 m × W8 m 運転質量：70 t (サイロ, BC 別途)
動力	動力 37 kW (ベルコン等含まず)	エンジン定格出力：99 kW	240 kW (ベルコン等含まず)
CSG 材供給, 管理	原料土の質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるようにベルトフィーダの速度を制御	土砂フィーダを通過時の均しローラの高さにより容積を計算	原料土の質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるようにベルトフィーダの速度を制御
セメント添加・管理	セメントの質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるように速度制御し供給	製品 (CSG) 質量をベルトウエアで計測し, 設定添加率で供給	セメントの質量をベルトウエアで計測し, 常時設定量になるように速度制御し供給
給水方法・管理	ドライミックス後に均等給水 給水量は流量計管理	ミキサ部へ直接給水 給水量は流量計管理	ミキサ部へ直接給水 給水量は流量計管理
コスト	簡易な構造のため低コストとなり, プラント全体でも低コストになる		
長所	<ul style="list-style-type: none"> ・省エネルギー (使用電力量が少ない) ・連続混合 ・CSG 材, セメントはベルトウエアにより計測精度が高い ・独自の安定したセメント供給方式により供給量安定 ・ドライミックス後に均等給水し, ウエットミックスするため, 混合性能が高い ・二段階混合により粒度変化に対応可能 	<ul style="list-style-type: none"> ・連続混合 ・自走式で設置が容易で移動がスムーズ 	<ul style="list-style-type: none"> ・ミキサ 2 基による連続混合 ・CSG 材, セメントはベルトウエアにより計測精度良好 ・ミキシング能力高く粒度変化に対応可能

6. 特許, 実用新案のタイトル

① SP ミキサ関連特許

特許番号：特許第 4021786 号

発明の名称：混練装置及び混練方法

②セメント供給方法関連特許

特許出願番号：2011-055442

出願名称：粉体定量供給方法

7. 波及効果

SP ミキサは重力併用型のため, 少ない動力で大きな製造能力と砂礫, 砂系の原料土 (高含水比の粘性土などは不適) では混合攪拌が効率良く行える特徴を有しているため, 製造以外の用途にも適用前に実験を行い, 品質・性能を確認している。

高田 悦久 (たかだ よしひさ)：応募代表者
鹿島建設(株) 執行役員 土木管理本部副本部長

お断り
この JCMA 報告は, 会長賞貢献賞を受賞した原文とは一部異なる表現をしてあります。