

CMI 報告

沈埋トンネル継手部の
性能評価試験

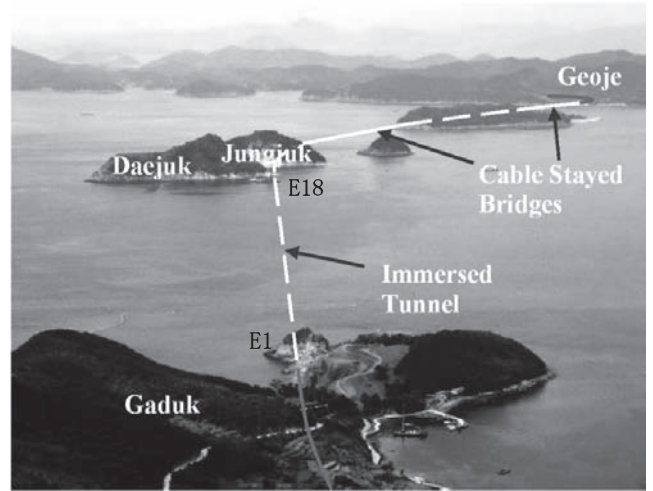
國廣 卓夫・三浦 康治

1. はじめに

韓国では、Busan と Geoje を結ぶ上下線あわせて4車線、全長8.2kmの高速道路（Busan-Geoje Fixed Link）が計画されており、その主な構造は斜張橋2基と山岳トンネル2基および沈埋トンネル1基となっている（写真—1参照）。

この沈埋トンネルは、図—1に示すように人工島である Jungjuk/Daejuk 島と Gaduk 島を結んだ全長3.24km、最深部47mのコンクリート製沈埋函18基（E1～E18）で構成された韓国史上、初めての巨大沈埋トンネルである。そのため、各沈埋函の継手部は高水圧下において十分な止水性能を保持することが要求されており、日本国内外で実績のあるジーナ型ゴムガスケット（m34）が採用されることとなった。

m34 ゴムガスケットを本工事に適用するにあつ



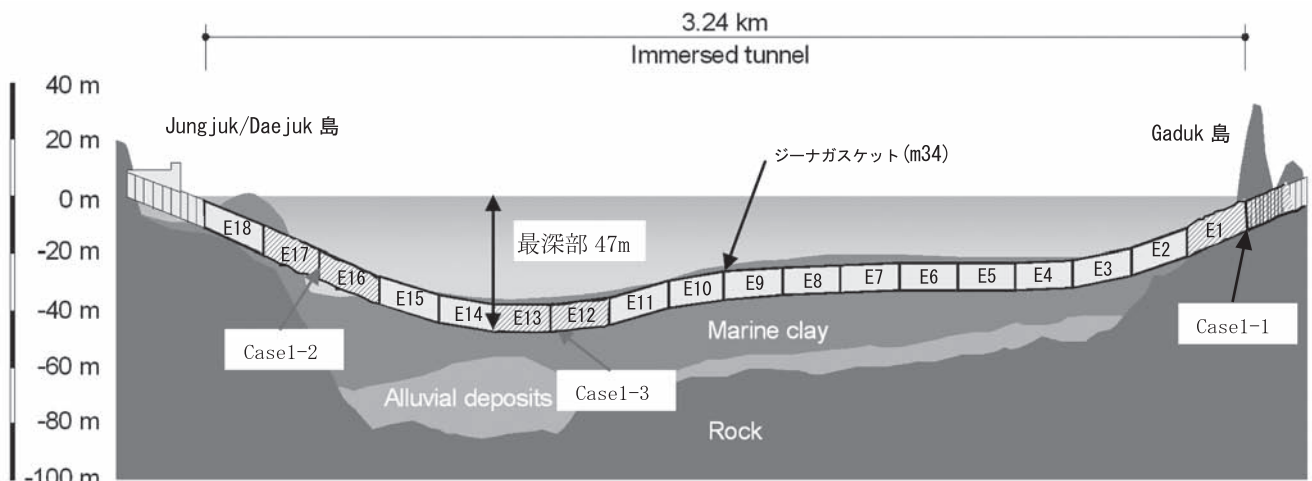
写真—1 Busan-Geoje Fixed Link

ては、函体接合施工時における止水性（Case1-1～1-3）、および100年経過後の想定変形量、地震時の応力開放を考慮した止水性を確認するために、工事開始時に2試験体（1-1、1-2）、工事中間時に3試験体（2-1～2-3）、計5試験体を用いた止水性能評価試験を実施した。以下では、その結果について報告する。

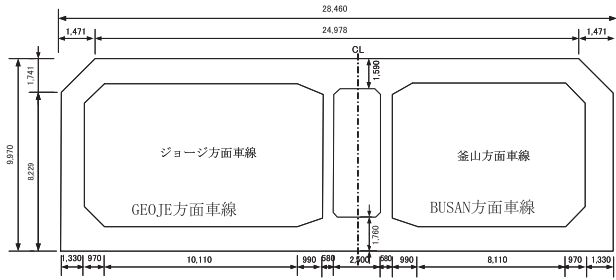
2. 試験体

沈埋函（E18/17）の寸法は、長さ180m、断面形状は図—2に示したように六角形となっている。図—3にはE18/E17に設置されるゴムガスケットの全体図を示し、図—4に既設沈埋函端面のストッパーおよび新設沈埋函端面のゴムガスケット（m34）の取付図を示す。

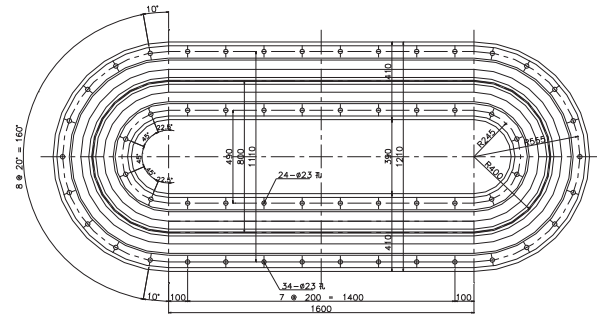
試験体は試験装置の規模（載荷荷重 max1200t）を考慮し、図—5に示したようにノーズ先端における周長約5.7m（直線部長1.6m）の実物大断面形状を有するトラック形状供試体とした（写真—2参照）。



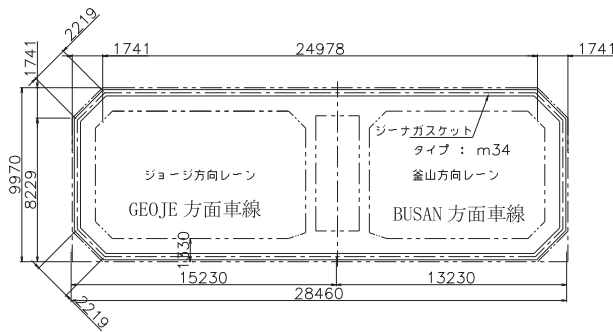
図—1 沈埋トンネル工事の概要と試験対象箇所



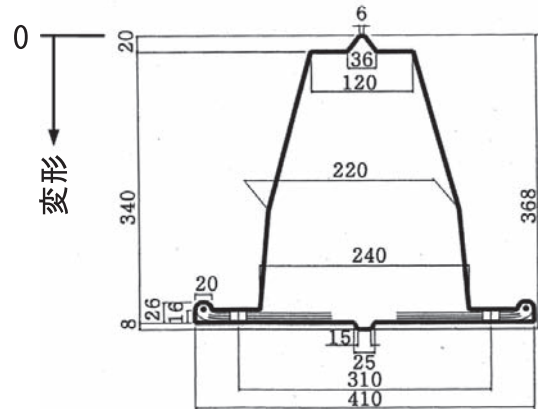
図一 2 沈埋函断面図 (E18/E17)



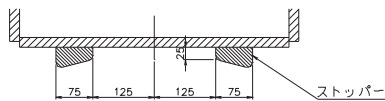
図一 5 試験体形状寸法



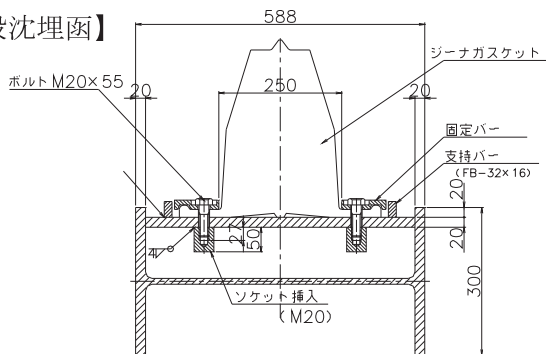
図一 3 ゴムガasket設置全体図 (E18/E17)



【既設沈埋函】



【新設沈埋函】



図一 4 ストッパー、ゴムガasketの取付図

3. 試験方法および試験条件

(1) 試験方法

(a) 試験装置

図一 6 に示したように、試験装置は荷重装置と注水加压装置より構成され、荷重装置は主に試験体がセットされるフレームと試験体を圧縮変形させる油圧ジャッキ (120tf, 200mmst × 10 台), PC 鋼棒 (φ 52 × 10 本) より構成される。

注水加压装置は、主に窒素ガスポンベと注水タンクおよび圧力調整弁より構成される。

(b) 測定項目および測定方法

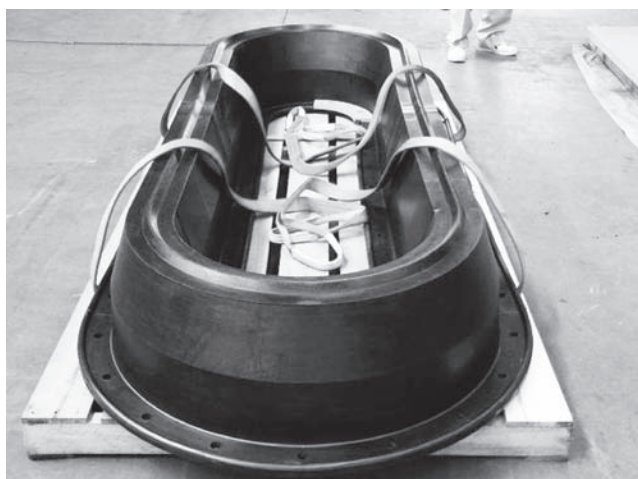
図一 7 に示したように、荷重荷重、試験体の鉛直変形量および水圧を、圧力変換器、電気式変位計等により測定した。

(2) 試験条件

ゴムガasketの止水性試験は、函体接合時および応力解放時を想定した 2 種類の試験を実施した。以下に、試験条件を示す。

(a) 函体接合時の止水性試験

この試験は、函体接合時の止水性に関する安全性を確認するため、沈設水深に相当するゴムガasket応力を保持した状態 (圧縮変形量: 一定) で、水圧



写真一 2 トラック形状試験体

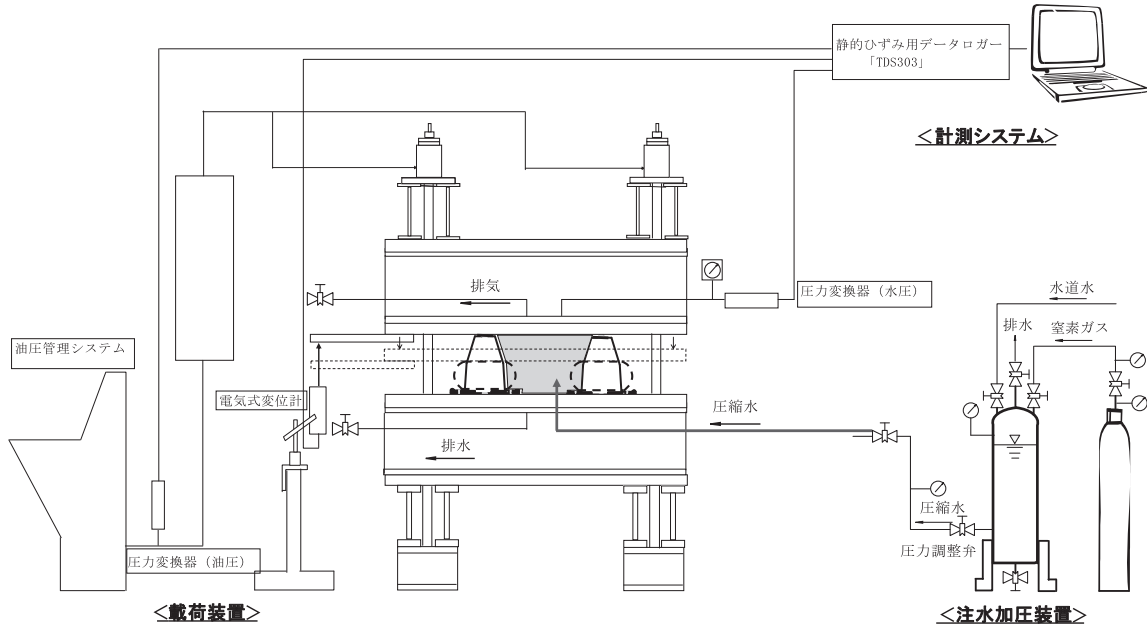
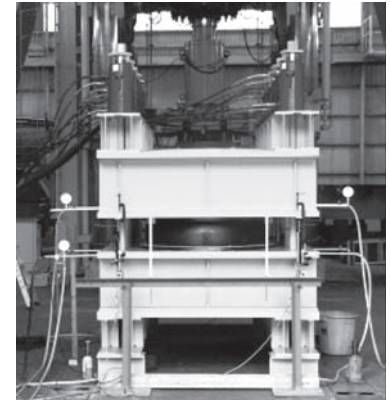
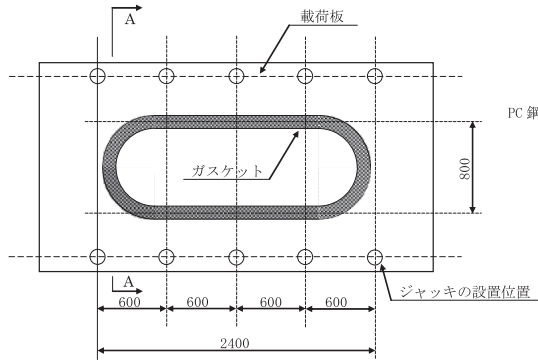


図-6 試験装置および試験状況

0MPa から最大 0.98MPa (水深 100m 相当, 最深部の約 2 倍) まで加圧する試験であり, 表-1 に試験体ごとの試験条件を示す。

なお, ゴムガスケットの圧縮変形に伴う応力状態は, 載荷板とゴムガスケットとの接触面積が圧縮変形量の進捗に伴って変化するため, 試験時, 接触面積を直接的に測定することが難しい。このため, 切出し試験片圧縮試験による荷重-変形量曲線 (図-8 参照) を用いて沈設水深に相当する荷重から求めたゴムガスケットの圧縮変形量を負荷することとした。

(b) 応力解放時止水性能試験

この試験は, 工事完了から 100 年経過後のゴムガスケットの止水性, さらに地震時におけるセグメントの挙動に伴う応力解放が生じた場合の止水性に関する安全性を確認するため, 水圧を保持した状態で, 圧縮変形量を減少させ, 漏水が起きる限界変形量を確認する試験であり, 表-2 に試験体ごとの試験条件を示す。

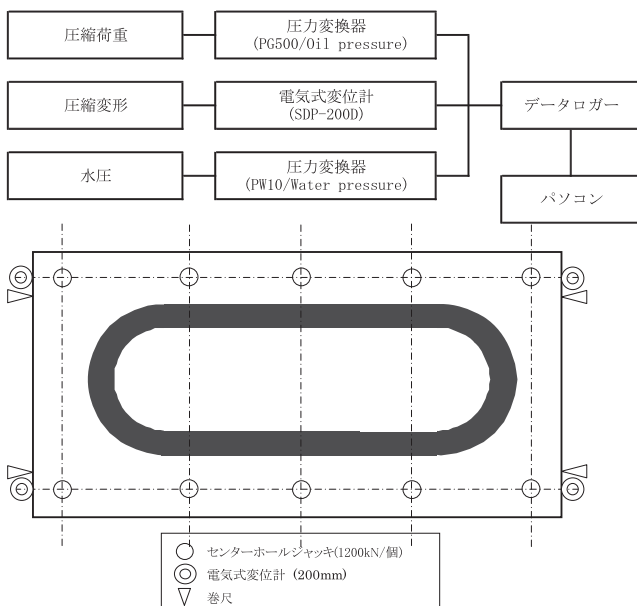


図-7 測定項目および測定方法

表一 試験体ごとの試験条件

ケース No.	圧縮荷重 (kN/m)	変形量* (mm)	水圧の調整	対象
Case1-1	239 (150.9)**	100 (80)	圧縮荷重を一定に保ち、漏水するまで水圧をあげる(最大水圧 0.98MPa)	E1/ C&C
Case1-2	849	164		E16/ E17
Case1-3	1514	178		E12/ E13

*試験荷重は、圧縮荷重-変形量関係(図-8)より求めた変形量により調整した。

**圧縮条件は、2007年の設計曲線変更に伴い239kN/mとした。圧縮荷重150.9kN/mは2006年に実施した試験体ケース1-1の試験条件を示す。

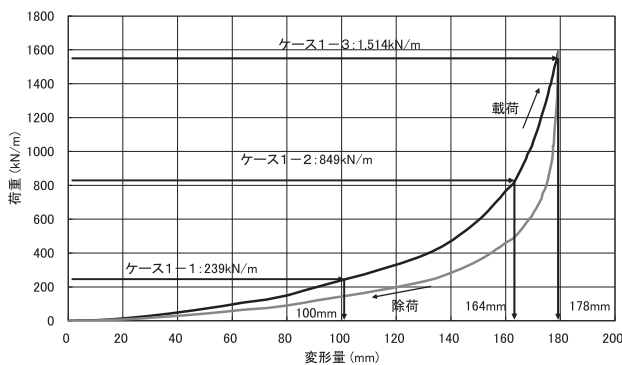


図-8 荷重-変形量曲線 (m34)

表二 試験体ごとの試験条件

ケース No.	圧縮荷重 (kN/m) (初期変形量* (mm))	水圧 (MPa)	圧縮変形
Case2-1	1514 (178)	0.2	水圧を一定に保ち、漏水するまで変形量を減少させる。
Case2-2	1514 (178)	0.4	
Case2-3	1514 (178)	0.6	
Case2-4	1514 (178)	0.8	
Case2-5	1514 (178)	1.0	

*初期変形量は圧縮荷重-変形量関係(図-8)より求めた。

4. 試験結果

(1) 函体接合時の止水性能試験

試験結果を表-3に示す。全試験体において試験最大水圧0.98MPa時に漏水は認められなかった。

(2) 応力解放時の止水性能試験

応力開放時の漏水状況例を写真-3に、各設定水圧において漏水が生じた限界変形量を以下に示す。

各設定水圧における圧縮変形量(漏水限界)のばらつき(5~10mm)は、ゴム硬度の大小によるものと考えられた。これは、今回の試験に用いた試験体のゴム硬度が許容値を満たしていたものの同一ではなく、

表三 函体接合時の止水性能試験結果

試験体	Case1-1	Case1-2	Case1-3
1-1	80mm	164mm 0.98MPa	178mm 0.98MPa
1-2	0.98MPa		
2-1	100mm 0.98MPa	164mm 0.98MPa	178mm 0.98MPa
2-2			
2-3			

注) 上段: 初期圧縮変形量, 下段: 試験最大水圧

許容値の下限寄りの試験体では、同一変形量において圧縮荷重(kN/m)が小さくなるため、漏水しやすい傾向となり、ゴム硬度の大きい試験体より圧縮変形量(漏水限界)δが大きくなったことによる。

- (a) 水圧0.2MPa: 圧縮変形量δ20~25mmで漏水
- (b) 水圧0.4MPa: 圧縮変形量δ25~35mmで漏水
- (c) 水圧0.6MPa: 圧縮変形量δ40~45mmで漏水
- (d) 水圧0.8MPa: 圧縮変形量δ60~65mmで漏水
- (e) 水圧1.0MPa: 圧縮変形量δ75~85mmで漏水

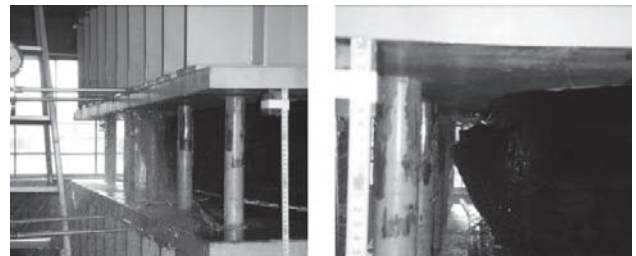
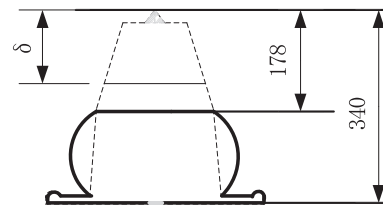


写真-3 漏水状況

(3) まとめと考察

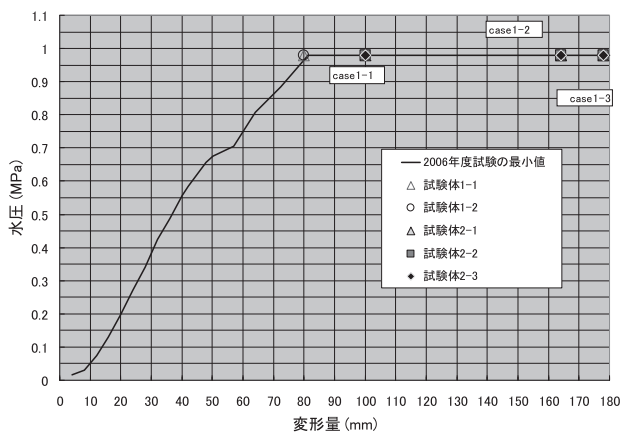
① 函体接合時の止水性能

函体接合時の止水性能試験結果を2006年度の試験から得られたm34の性能曲線上にプロットし、図-9に示す。

すべての試験体において、試験最大水圧0.98MPaの止水性能を有していることが確認された。一方、本現場において想定されている最大水圧は0.52MPa(E12/E13)であることから、この場合、函体を沈設し接合する際の施工上の漏水に対する安全率(以降、止水安全率と称す)は、試験の範囲内においては2倍程度有していることが確認された。

② 応力解放時(供用後100年相当)の止水性能

応力解放時の止水性能試験結果を図-10に示す。

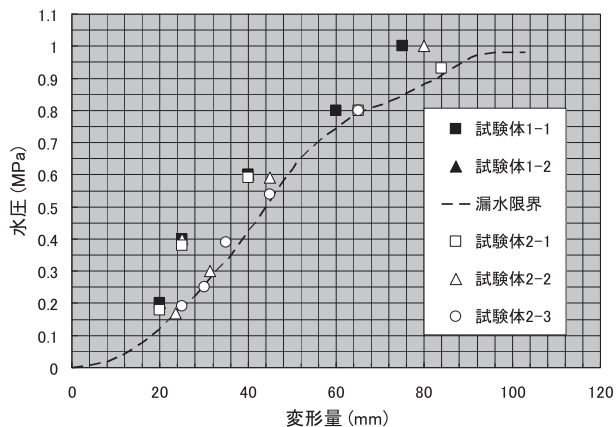


図一9 m34の函体接合時性能曲線

ジーナガスケット m34 の止水性（供用後 100 年を想定）が確保される限界圧縮変形量は、下記のとおりと推察される。

- ・水圧 0.2MPa：圧縮変形量 25mm
- ・水圧 0.4MPa：圧縮変形量 35mm
- ・水圧 0.6MPa：圧縮変形量 45mm
- ・水圧 0.8MPa：圧縮変形量 65mm
- ・水圧 1.0MPa：圧縮変形量 85mm

ゴムガスケットの止水設計に当たり、漏水限界を用いて性能設計を行う場合には、今回の止水性試験結果による漏水限界の最低値を用いて設定した性能曲線（図一10中の点線）を適用することができるものと



図一10 m34の応力開放時性能曲線

表一4 m34の止水安全率（供用後100年を想定）

部位	安全率	部位	安全率
E18/E17	3.05	E9/E8	1.75
E17/E16	2.20	E8/E7	1.74
E16/E15	1.91	E7/E6	1.75
E15/E14	1.67	E6/E5	1.79
E14/E13	1.52	E5/E4	1.81
E13/E12	1.54	E4/E3	1.86
E12/E11	1.60	E3/E2	2.26
E11/E10	1.64	E2/E1	2.47
E10/E9	1.69	E1/C & C	2.84

考える。

③その他の函体接合部の安全率

図一10の性能曲線から、本沈埋トンネルにジーナガスケット m34 を使用する全継手部の供用後 100 年の使用限界における止水安全率を試算した一例を表一4に示す。これより、m34 は 100 年後においても止水安全率 1.5 以上を確保しているものと推察される。

謝辞：本報文の作成にあたり、現地写真や図面等の提供およびご意見、ご協力を頂きました GK Fixed Link Co., COWI A/S, 横浜ゴム(株)の方々に感謝の意を表します。

JCMMA

【筆者紹介】



國廣 卓夫（くにひろ たくお）
 (株)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所
 研究第二部
 技術課長



三浦 康治（みうら こうじ）
 (株)日本建設機械化協会
 施工技術総合研究所
 研究第二部
 主任研究員