

荷重分布型伸縮装置を設置したRC床版の耐疲労性および製作・施工技術

Fatigue Durability and Manufacturing/Construction Technology of RC Slabs with Load-Distributed Expansion Joint

阿部 忠 佐々木 茂隆 深水 弘一 岡村 達也

1. はじめに

日本の橋梁数は2023年現在で約73万橋が供用され、その多くは高度経済成長期に建設されている。したがって、建設後50年が経過する橋梁も年々多くなっている。しかし、2009年に橋梁の長寿命化修繕計画事業が策定された以降は、健全性を評価し、毎年決められた予算の中で適切な修繕が実施され、長寿命化が図られている。

一方、73万橋の入口、出口および遊間部には伸縮装置が設置され、近年、伸縮装置の老朽化に伴う取替工事が実施されると同時にRC床版の損傷を軽減するための伸縮装置も開発されている。



(1)健全度Ⅲ (2)健全度Ⅳ (3)健全度Ⅳ

写真1 遊間の異常

そこで、本稿では新たに開発した荷重分布型伸縮装置¹⁾を設置したRC床版を用いて輪荷重走行疲労実験を実施し、耐疲労性を評価するとともに、製作・施工技術について述べる。

2. 伸縮装置の損傷状況

2-1. 伸縮装置の損傷状況

伸縮装置の損傷事例の一例を写真1に示す。写真1(1)は、橋梁定期点検要領に示す健全性の判定区分はⅢに相当する損傷である。健全性Ⅲは早期に維持管理することで長寿命化が図れる損傷である。写真1(2)は、鋼製の伸縮装置であり、遊間部に土砂の滞積や鋼材が破損し、段差も20mm以上であることから健全性の判定区分はⅣに相当し、第3者被害も予想されることから取替工事が必要となる。次に、誘導板付き伸縮装置の損傷事例を写真1(3)に示す。伸縮装置は2013年に取替工事を施し、2015年に損傷が発生した伸縮装置の損傷事例である。設置に用いたアンカー筋と誘導板が溶接されているが、既設RC床



あべ ただし / ABE Tadashi
日本大学
名誉教授 博士(工学)



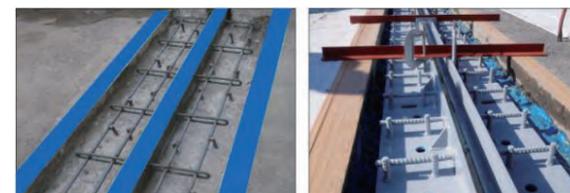
ささき しげたか / SASAKI Shigetaka
(株)橋梁保全研究所
代表取締役 博士(工学)



ふかみ こういち / FUKAMI koichi
山王(株)
代表取締役



おかむら たつや / OKAMURA Tatsuya
住友大阪セメント(株)
建材事業部



(1)従来型伸縮装置 (2)荷重分布型伸縮装置

写真2 伸縮装置の一例

版コンクリートの土砂化等により、抜けや溶接破断が見られる。よって、誘導板付き伸縮装置にも早期に損傷が発生している。

以上のように、鋼製伸縮装置および誘導板付き伸縮装置は、大型車両の荷重変動に伴う衝撃による損傷やRC床版にも損傷が及ぶものと考えられる。よって、新設の伸縮装置には耐荷力性能・耐疲労性の向上、さらにRC床版にも優しい伸縮装置であることが要求される。

2-2. 既往の伸縮装置の一例

既往の伸縮装置の一例を写真2に示す。写真2(1)は、本稿では従来型の伸縮装置と称し、伸縮部の縦鋼板に鉄筋を溶接し、設置ではアンカー筋を打ち込みし、超速硬コンクリートを打ち込みしている。次に、写真2(2)は本稿では荷重分布型伸縮装置とし、縦鋼板に鉄筋が溶接されている。設置にはアンカー筋を打ち込み、超速硬コンクリートを打ち込みする。

3. 本実験に用いる伸縮装置の使用材料および寸法

3-1. 供試体材料

3-1-1. RC床版の使用材料

伸縮装置を設置するRC床版供試体のコンクリートには、普通セメントと5mm以下の砕砂および5mm～20mmの碎石を使用した。コンクリートの設計基準強度は、道路橋示方書・同解説²⁾(以下、道示と称す)に規定する24N/mm²を目標とした。28日でのコンクリートの圧縮強度は31.2N/mm²である。次に、供試体の

表1 接着剤の性能

項目	浸透性接着剤		付着用接着剤	
	主剤	硬化剤	無色液状	白色ペースト状
外観	無色液状	無色液状	白色ペースト状	青色液状
混合比(主:硬)	10:3		5:1	
硬化物比重	1.2		1.42	
圧縮強度	104.4N/mm ²		102.9N/mm ²	
圧縮弾性係数	3.172N/mm ²		3.976N/mm ²	
曲げ強さ	92.8N/mm ²		41.6N/mm ²	
引張せん断強さ	58.2N/mm ²		14.9N/mm ²	
付着強さ	2.6N/mm ² 以上 >1.0N/mm ²		3.7N/mm ² 以上 >1.0N/mm ²	

鉄筋にはSD345、D13を用いる。

3-1-2. 伸縮装置に用いる鋼材

新に開発した標準タイプおよび雪国タイプの荷重分布型伸縮装置の縦鋼板には厚さ12mmの溶接構造用圧延鋼板SM400、標準タイプの荷重分布鋼板には厚さ9mmの一般構造用圧延鋼板SS400を用いる。また、横筋であるジベル筋および縦筋にはSD345、D16、伸縮装置軸方向の鉄筋にはD13を用いる。

3-1-3. 浸透性接着剤および付着用接着剤

実橋の伸縮装置の取替工事では、破損した伸縮装置をブレーカ等で衝撃を与えながら撤去している。これによってRC床版に新たなひび割れの発生が懸念される。そこで、設置工事で発生する新たなひび割れ補修には低粘度エポキシ系接着剤(以下、浸透性接着剤と称す)を用いる。また、撤去後にRC床版コンクリートと流動性モルタル、速硬コンクリートとの付着力を高めるために高耐久型エポキシ系接着剤(以下、付着用接着剤と称す)を用いる。ここで、浸透性接着剤(KSプライマー)および付着用接着剤(KSボンド)の特性値を表1に示す。表より付着強度はそれぞれ2.6N/mm²、3.7N/mm²以上であり、付着強度の基準は1.0N/mm²以上である。実験供試体では、RC床版コンクリート表面に浸透性接着剤を塗布し、その後、付着用接着剤を塗布する。また、鋼材表面にも付着用接着剤を塗布し、超速硬コンクリートを打設する。

3-1-4. 伸縮装置設置に用いるセメント系材料

従来型の伸縮装置の設置には超速硬コンクリートを用いる。このコンクリートは、材齢3時間で道示に規定

表2 超速硬コンクリートの配合条件

練り上げ量 (25l)			圧縮強度	
セメント 骨材	粗骨材	水・減水剤 遅延剤	材齢 3時間	材齢 24時間
30kg	25kg	4.0kg	25.4N/mm ²	51.9N/mm ²

表3 超速硬流動性モルタルの配合条件

示方配合			圧縮強度
水材 料比	練り上げ量 (約 13.5l)		材齢 3 時間
	プレミックス	水	
18	25kg	4.5l	26.8N/mm ²

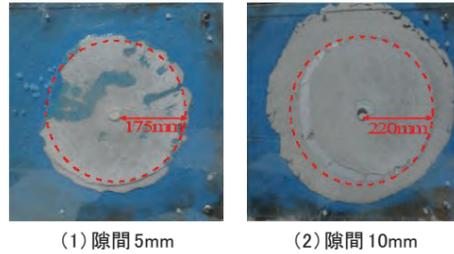


図1 φ30mmの孔から流動性モルタル充填した範囲

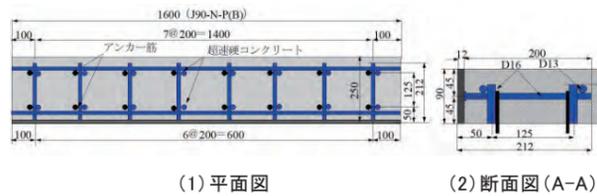


図2 従来型伸縮装置の寸法(単位: mm)

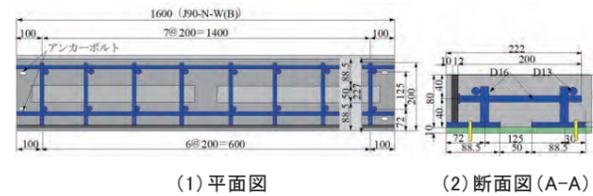


図3 荷重分布型伸縮装置の寸法(単位: mm)

するコンクリートの設計基準強度24N/mm²以上となる。よって、セメントには超速硬セメントを用い、最大寸法15mmの骨材が配合された本装置専用のプレミックス材(ジェットパック特注品)を用いる。ここで、超速硬コンクリートの配合条件を表2に示す。実験時の3時間後の圧縮強度は25.4N/mm²である。

次に、荷重分布型伸縮装置はコンクリート表面から10mmの位置に設置する。この隙間には超速硬流動性モルタル(フィルコンSスーパー)を充填する。ここで流動性モルタルの配合条件を表3に示す。

次に、φ30mmの孔からコンクリート表面の不陸を考慮して隙間5mmと隙間10mmについて流動性モルタルの充填範囲を図1に示す。充填は充填用のジョウロを用いた。コンクリート表面には浸透性接着剤を0.5kg/m²、付着用接着剤を0.9kg/m²塗布した。充填方法は流動性モルタルを流し込み、ハンマーで衝撃を与えながら充填した。隙間5mmの場合の充填範囲は半径175mm、隙間10mmの場合は200mmである。

よって、充填孔の間隔はこれを考慮して決定する必要がある。

3-2. 伸縮装置供試体の寸法

従来型を模擬した標準タイプの伸縮装置および標準タイプの荷重分布型伸縮装置の2種類である。それぞれの伸縮装置の寸法および形状を図2, 3に示す。

3-2-1. 標準タイプの従来型伸縮装置

従来型の伸縮装置(写真2(1))の寸法は図1に示すように、厚さ12mmの縦鋼板に200mm間隔で横筋が溶接され、その横筋に縦筋を溶接する。また、表面からかぶり30mmの位置にD13の鉄筋を軸方向に2本配置した構造である。本供試体には図2に示すように、伸縮装置の設置には長さ1,600mmを設置した。この供試体をJ90-N-Pとする。

3-2-2. 標準タイプの荷重分布型伸縮装置

標準タイプの荷重分布型伸縮装置は写真2(2)に示す従来型伸縮装置の縦鋼板および縦筋の下面に図

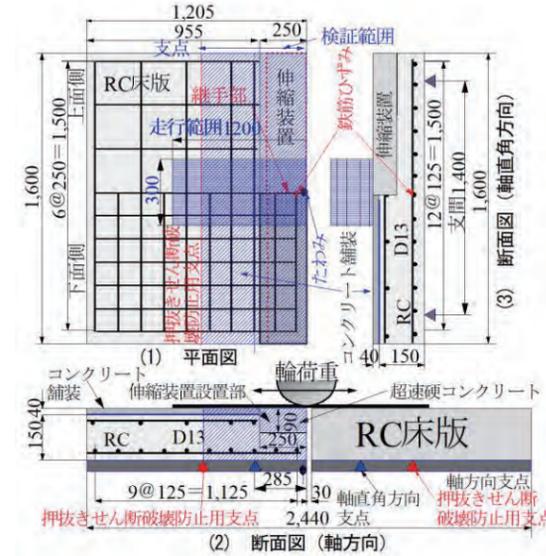


図4 RC床版供試体寸法(単位: mm)

3に示すように、厚さ9mmの荷重分布鋼板を溶接した構造である。荷重分布鋼板には幅50mm×長さ700mmを切り抜き、ここから超速硬流動性モルタルを充填する。伸縮装置の設置には長さ1,600mmを設置し、供試体をJ90-N-Wとする。

3-3. 伸縮装置を設置するRC床版供試体の寸法

伸縮装置を設置したRC床版の張出部付近の疲労損傷を検証することから、RC床版は1980年改定道示²⁾に準拠し、実験装置の輪荷重幅300mmを考慮して実床版の3/5モデルとする。ここで、RC床版供試体寸法を図4に示す。図4に示すように、供試体の支間は1,400mm(全幅1,600mm)、軸方向の全長は1,205mm、床版厚は150mmである。RC床版の鉄筋にはD13を用いる。引張主鉄筋の間隔は125mm間隔、圧縮側は250mm間隔とした。

伸縮装置の設置は図4に示すようにRC床版の張出部端部に250×50mmの切り欠きを設け、高さ90mmの伸縮装置を設置する。ここで、伸縮装置の設置後の厚さ190mmに対してRC床版厚が150mmであることからRC床版部が40mmの段差が生じる。そこで、この40mm厚の舗装が必要となる。

一般的にはアスファルト舗装を舗設するが、本供試



写真3 輪荷重走行疲労実験状況

体は輪荷重走行中に舗装面の早期の損傷、剛性不足に伴う押抜きせん断破壊を防止するために、本供試体には超速硬コンクリートで40mmの舗装を実施する。また、輪荷重の走行によりRC床版とコンクリート舗装との界面は、はく離しやすいことから表1に示す付着用接着剤を塗布して一体化する。なお、施工法は6章で説明する。

実験では、伸縮装置を設置したRC床版の張出部付近の疲労損傷を検証することから、RC床版の両側に橋軸方向に支点(図4, 青▲)を設置する。

4. 輪荷重走行疲労実験および等価走行回数

4-1. 輪荷重走行疲労実験

本実験は伸縮装置上を輪荷重が一定な荷重で連続走行する輪荷重走行疲労実験を行う。ここで、輪荷重走行疲労実験状況を写真3に示す。輪荷重走行疲労実験における荷重条件は荷重100kN、120kNで30,000回走行ごとに荷重を10kN増加する。輪荷重走行疲労実験は図4に示すように、伸縮装置を設置したRC床版と遊間部の幅30mmを開け、同一高さのRC床版を設置し、伸縮装置を設置したRC床版の健全性IVを想定し、たわみが4.0mmに達した時点で実験を終了する。耐疲労性の評価は等価走行回数を得て評価する。

4-2. 等価走行回数

本実験では、段階荷重載荷による輪荷重走行疲労実

表4 等価走行回数

供試体名称	等価走行回数 合計 (回)	等価走行回数比
J90-N-P	2,976,530	—
J90-N-W	6,617,353	2.22

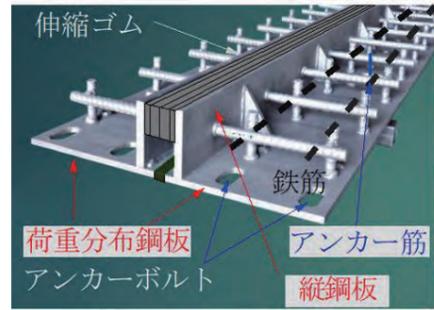


図5 実橋梁に設置した荷重分布型伸縮装置



写真4 伸縮装置の撤去作業およびはつり作業

写真4 伸縮装置の撤去作業およびはつり作業

験を行ったことから耐疲労性の評価は等価走行回数 N_{eq} を式(1)より算出して評価する。なお、式(1)におけるRC床版のS-N曲線の傾きの逆数の絶対値には $m=10.5$ を適用する²⁾。

$$N_{eq} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{P_i}{P} \right)^m \times n_i \dots \dots \dots (1)$$

ここに、 P_i : 載荷荷重 (kN), P : 基準荷重 (78kN), n_i : 実験走行回数 (回), m : S-N曲線の傾きの逆数 (=10.5)

5. 結果および考察

従来型の伸縮装置の長さ1,600mmの伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体J90-N-Pの等価走行回数を表4に示す。式(1)にS-N曲線の傾きの逆数 $m=10.5$ を適用した等価走行回数は 2.976×10^6 回である。次に、長さ1,600mmの伸縮装置の中央を輪荷重が走行した場合の供試体J90-N-Wの式(1)でのS-N曲線の傾きの逆数 $m=10.5$ を適用した等価走行回数は 6.617×10^6 回であり、供試体J90-N-Pの等価走行回数の2.22倍である。

以上より、荷重分布型伸縮装置の等価走行回数が

大幅に向上することから実用的であることが評価された。

6. 施工手順

荷重分布型伸縮装置の耐疲労性が評価されたことから、本稿で提案する図4に示す構造が熊本県の橋梁に採用された。熊本県では2橋目である。そこで、熊本県での伸縮装置取替事例に基づいて施工手順を述べる。

伸縮装置の取り替え工事において、荷重分布型伸縮装置を設置する橋梁は、橋長17,400mm、幅員9,200mm、地覆幅600mm、伸縮装置の設置寸法は幅員8,000mmである。よって、伸縮装置は2,000mmの長さで幅員に併せて片側4体、計16体製作する。

6-1. 荷重分布型伸縮装置の概略

実橋に用いた荷重分布型伸縮装置の概略を図5に示す。

6-2. 旧伸縮装置の撤去およびはつり作業

伸縮装置の撤去作業およびはつり作業状況を写真4に示す。



(1) 浸透性接着剤の塗布および混合

(2) 付着用接着剤の塗布および混合

写真5 浸透性接着剤および付着用接着剤の塗布および混合



(1) 伸縮装置の設置 (2) アンカー筋の溶接 (3) 流動性モルタル充填

写真6 伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填

旧伸縮装置撤去前には、写真4(1)に示すように、伸縮装置の両側にはシート養生を行った。

次に、旧伸縮装置の撤去作業は、ブレーカやチツパ等で撤去した。この場合、衝撃による微細なひび割れや骨材のはく離が懸念される(写真4(2))。本設置にはこれらの損傷を補修するために浸透性接着剤を用いた。はつり後は伸縮装置が設置される寸法の確認を行った(写真4(3))。

6-3. 浸透性接着剤・付着用接着剤の混合状況

浸透性接着剤・付着用接着剤の塗布および混合状況を写真5に示す。まず、遊間部には、補強用の流動性モルタルを打ち込む前に、止水バックアップ材を設置する。設置後、写真4(2)に示したように、ブレーカでのはつりによって発生する微細なひび割れ補修として、浸透性接着剤(表1)を 0.5 kg/m^2 を塗布した(写真5(1), ①)。浸透性接着剤は表1に示すように、主材と硬化剤があり、混合比は主剤10に対して硬化剤は3、すなわち10:3の混合である(写真5(1), ②)。浸透性接着剤はアンカー打ち込みの際に発生する 0.05 mm 以上のひび割れにも浸透する。硬化時間は、常温で4時間から8時間程度であるが付着用接着剤および流動性モルタルの発熱効果により短縮される。

次に、RC床版コンクリートと流動性モルタルとの付着力を高めるために付着用接着剤を 0.9 kg/m^2 を目安

に塗布した(写真5(2), ①)。混合条件は表1に示すように、主材と硬化剤があり、混合比は主材5に対して硬化剤は1、すなわち5:1の混合である(写真5(2), ②)。同時に伸縮装置の荷重分布鋼板下面にも付着用接着剤を 0.9 kg/m^2 を目安に塗布した(写真5(2), ①)。

6-4. 伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填

伸縮装置の設置および流動性モルタルの充填状況を写真6に示す。

荷重分型伸縮装置の本設置(写真6(1))においては、両端部の4角をM16のアンカーボルトで締め付け固定した。また、アンカー筋を打ち込み伸縮装置の縦筋、あるいは圧縮鉄筋と溶接した(写真6(2))。アンカー筋の本数は、床版のはつり面の不陸状況等も考慮し、発注者との事前打ち合わせにより決定するが、伸縮装置2mで8~12本程度を目安とする。設置が終了した後はただちに流動性モルタル充填を行った(写真6(3))。伸縮装置の荷重分布鋼板には流動性モルタルの充填用のジョウロが設置できるように $\phi 30 \text{ mm}$ の充填孔を200mm間隔で設けた。設置作業と同時に流動性モルタルの練混ぜ準備を行い、設置と同時に充填が開始できるよう作業を行い、また、10mmの隙間から流動性モルタルが漏れないように止水用バックアップ材の設置を要確認する。なお、付着用接着剤の硬化時



(1) 伸縮装置の設置 (2) 付着用接着剤塗布 (3) 付着用接着剤塗布完了

写真7 流動性モルタル充填完了および付着用接着剤の塗布



(1) 移動式プラント (2) スランプ試験 (3) 超速硬コンクリート打ち込み

写真8 超速硬コンクリートの打ち込み

間は120分であることから、ジョウロを挿入し、ただちに順次、移動しながら必要な量を充填し(写真6(3))、充填にはハンドバイブレータなどを用いて振動を与えながら行った。

なお、充填範囲は3-1-4.で述べたように、200mm間隔で十分に充填される結果を述べた。

6-5. 付着用接着剤塗布

流動性モルタル充填完了および付着用接着剤塗布状況を写真6, 7に示す。流動性モルタル充填後を写真7(1)に示す。充填後、荷重分布鋼板上面および鉄筋等の鋼材と超速硬コンクリートの接合面および既設RC床版側面に付着用接着剤を塗布した(写真7(2), (3))。塗布量は、0.9kg/m²を目安とした。

6-6. 移動式プラントおよび超速硬コンクリート打ち込み

移動式プラントおよび超速硬コンクリート打ち込み状況を写真8に示す。

鋼材に付着用接着剤塗布と同時に超速硬コンクリートを移動プラント車(超速硬コンクリートモービル車)で練混ぜ開始する(写真8(1))。試験は写真8(2)に示すように、スランプ試験(写真8(2))および材齢3時間で圧縮強度が24N/mm²以上発現するかの圧縮試



(1) ほうき仕上げ (2) SM止水材を充填 (3) 伸縮装置完成

写真9 表面仕上げおよびSM止水材の充填

験も実施する。練り混ぜ後、ただちに伸縮装置設置部に打ち込みを実施した(写真8(3))。

6-7. 表面仕上げおよびSM止水材充填,

表面仕上げおよびSM止水材充填状, 況を写真9に示す。

超速硬コンクリートを打ち込み終了後、表面を平滑に仕上げし、ほうき仕上げを行った(写真9(2))。次に、遊間部にはSM止水材を充填(SMジョイント)し、平滑に仕上げた後、養生し(写真9(3))、完成した施工幅および施工延長を確認後、交通規制を解除した。荷重分布型伸縮装置の設置は、片側車線4.0mを両端部2箇所で行ったが、8時間施工が可能な施工技術であった。また、アンカー筋を2mで40本程差し込む従来型伸縮装置補修工法に比べて、荷重分布型伸縮装置補修工法は、2mで8~12本と70~80%少なく、これにより大幅な時間の短縮が図れる工法であると同時に、ハンマーでの打ち込みによる損傷も少なく、耐荷性能に優れた構造であるとともに耐久性向上にも大きく寄与するものと考えられる。なお、アンカー筋が少ない分、荷重分布鋼板下面にはφ6mm、長さ80mmの丸鋼を十字型に配置し、伸縮装置一体につき5箇所にて設けてあることから曲げ変形によるズレに対し、付着用接着剤との併用ではなく離・浮きが抑制でき



写真10 完成状況

ると考えられ、新技術である。

最後に完成後を写真10に示す。

7. まとめ

荷重分布型伸縮装置は従来型の伸縮装置に比べてRC床版との接着面に荷重分布鋼板を設けることで輪荷重がRC床版に広く分布され、耐疲労性が大幅

に向上する結果が得られた。よって、RC床版には優しい伸縮装置である結果が得られた。

施工技術では熊本県で2橋目の施工事例であるが、撤去したコンクリート表面には浸透性接着剤、付着用接着剤を塗布することで打ち継ぎ用の流動性モルタルとの付着強度が向上する。また、鋼材にはエポキシ系の防錆剤を塗布し、鋼材全面に付着用接着剤を塗布し、超速硬コンクリートを打ち込むことで終局時まで一体性が確保され、耐疲労性が向上する結果となる。

熊本県にはこの他にも2橋、合計4橋に取替工事に採用され、今後も期待できると考えられる。

【参考文献】

- 1) 深水弘一／道路橋の伸縮装置及び道路橋伸縮装置の施工法、特許第6567920号、2019.8
- 2) 日本道路協会／道路橋示方書・同解説I、II、1980
- 3) 阿部忠、佐々木茂隆、野口博之、水口和彦、川井豊／伸縮装置を設置したRCはりの静的耐荷力および修正Goodmanの関係式を用いた耐疲労性の評価、構造工学論文集、Vol.69A、pp.871~883、2023

お知らせ

セメント・コンクリート関西発表会2024

主催：コンクリート研究会

会場：2024(令和6)年11月12日(木) 10:00~17:30

アットビジネスセンター大阪本町 1607号室

大阪府大阪市中央区安土町2丁目3-13 大阪国際ビルディング

※リモート(Zoom)でも参加可能

内容：1)一般講演12編 2)特別講演(仮題)阪神高速の建設、リニューアル工事について

定員：100名

参加費：8,000円(懇親会費含む) / 3,000円(発表会聴講のみ又はリモート参加の方)

申込方法：10月18日(金)までに右記QRコードからGoogleFormでお申込みください。

併せて参加費を下記送金先口座にお振込みください。

送金先口座：

・銀行：三井住友銀行 大阪本店営業部(店番号:101)
 ・口座番号：普通口座 6611760
 ・口座名義：コンクリート研究会 会長 宮川豊章(コンクリートケンキョウカイ カイチョウ ミヤガワ トヨアキ)
 (注1)必ずご所属(もしくは聴講される方)がわかるよう、ご送金下さいませよう願ひ致します。
 (注2)振込手数料は、申込者でご負担願ひします。参加費は、理由の如何を問わずご返金できません。

問合せ先：住友大阪セメント(株) 中村 士郎 E-mail: snakamura@soc.co.jp

