

# ボイドスラブの曲げおよびせん断性能に関する研究

Study of bending and shearing performance of new void slab

池田秀樹\* 榎木浩行\* 藤井 毅\*

Hideki Ikeda, Hiroyuki Mominoki, Takeshi Fujii

従来の中空スラブの施工性を改良した、ボイドスラブを提案した。そこで、スラブの基本性能である曲げおよびせん断性能を実験的に確認した。実験の結果より、提案したボイドスラブの設計方法の妥当性が検証できた。

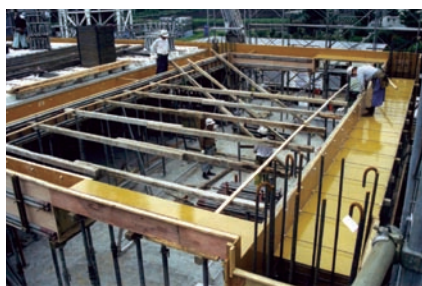
A new void slab that improves workability was proposed. The new slab's basic performance, shearing and bending ability were confirmed, and the adequacy of the design method was proven by test results.

## 1. はじめに

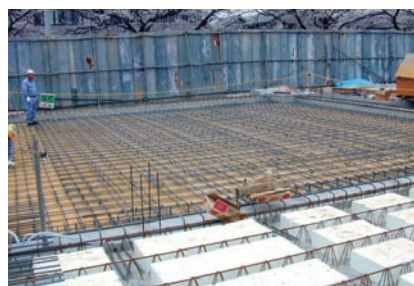
1960年頃より、場所打ち鉄筋コンクリートスラブにワインディングパイプを埋設した中空スラブが多くの設計者によって設計され、現在も集合住宅に多く採用されている。

中空スラブの施工方法は、図1に示すように型枠の建

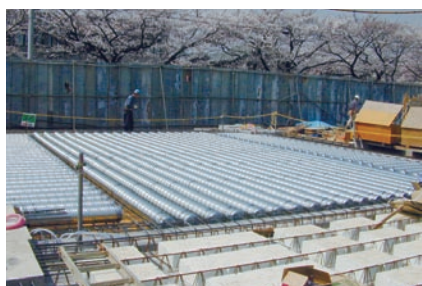
て込み→鉄筋工事(下端筋)→ワインディングパイプの据付け→鉄筋工事(上端筋)→コンクリートの打ち込みとなるが、鉄筋工事の間にワインディングパイプを据付ける必要がある。そのため、工期の短縮化が要求される現在では改善策が求められていた。そこで、鉄筋工事完了後に中空部となるボイド型枠を据付ける工法を考案した。(図2)



型枠の建て込み →



鉄筋工事(下端筋) →



ワインディングパイプの据付け →



鉄筋工事(上端筋) →



コンクリートの打ち込み →



型枠脱型・養生

図1 中空スラブの施工方法  
Fig.1 Construction technique of void slab



ボイド型枠の据付け 1 →



ボイド型枠の据付け 2 →



ボイド型枠の据付け 3 →



ボイド型枠の固定作業

図2 ドリームボイドスラブの施工方法  
Fig.2 Construction technique of new void slab(D.V.S.)

## 2. ドリームボイドスラブの製品概要

ドリームボイドスラブ(以下:D.V.S.)は、場所打ち鉄筋コンクリートスラブのスラブ断面中央部に楕円回転体の発泡スチロール製型枠(以下:ボイド型枠)を内蔵したスラブである。

ボイド型枠は、高さ150mm、175mm、200mm、225mm、計4種類のサイズがあり、同一スパン内でスラブ厚さが変わる場合の配筋の収まりやボイド型枠の割付けやすさを考慮し、全てのサイズで鉛直投影形状を同じとしていることが特徴である。

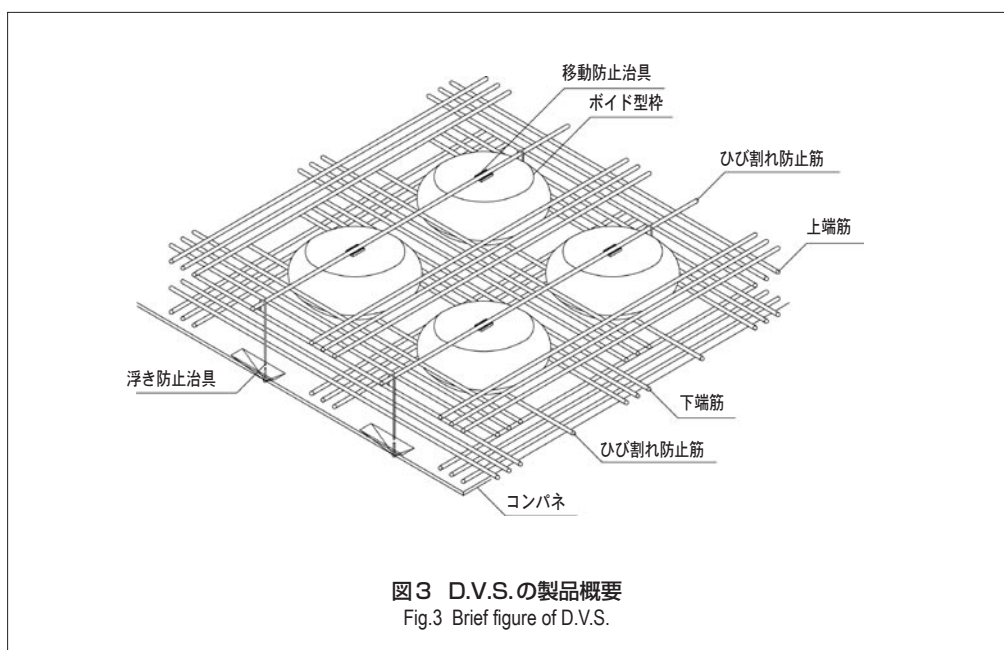
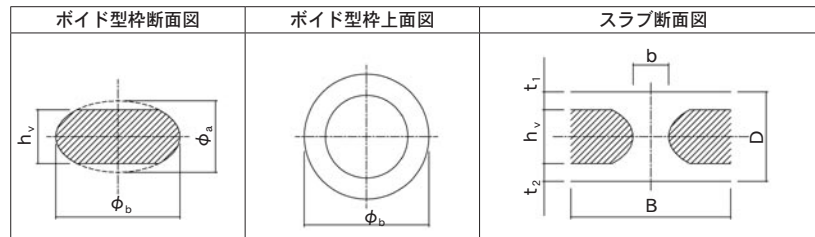


図3 D.V.S.の製品概要  
Fig.3 Brief figure of D.V.S.

表1 D.V.S.の寸法(標準品)

Table 1 Measurement of D.V.S.

| スラブ厚さ<br>D (mm) | ボイド厚さ<br>$h_v$ (mm) | ボイド上下最小<br>コンクリート厚<br>$t_1, t_2$ (mm) | ボイド型枠<br>の仮想縦径<br>$\phi_a$ (mm) | ボイド型枠<br>の最外径<br>$\phi_b$ (mm) | ボイドピッチ<br>B (mm) | ボイド間の最小<br>コンクリート巾<br>b (mm) |
|-----------------|---------------------|---------------------------------------|---------------------------------|--------------------------------|------------------|------------------------------|
| 250             | 150                 | 50                                    | 200                             | 350                            | 450              | 100                          |
| 275             | 175                 | 50                                    | 225                             | 350                            | 450              | 100                          |
| 300             | 200                 | 50                                    | 250                             | 350                            | 450              | 100                          |
| 325             | 225                 | 50                                    | 275                             | 350                            | 450              | 100                          |



### 3. D.V.S.の曲げおよびせん断実験

#### 3.1 実験目的

D.V.S.の曲げおよびせん断性能を実験的に確認することにより、設計方法(設計断面の剛性評価方法)の妥当性を検証する。

#### 3.2 実験概要

試験体は、スラブ厚250mmの実大D.V.S.を1ピッチ(450mm)切り出した形状とし、曲げ破壊先行型試験体2体とせん断破壊先行型試験体を2体作製した。

実験はアムスラー型曲げ圧縮試験機による2点载荷試験とした。曲げ試験体は、純曲げが作用するように支持間隔は4,050mmとし、せん断スパンを1,350mmとした。せん断試験体は、せん断破壊が先行するように、支持間隔1,800mm、せん断スパン450mmとした。測定は载荷荷重の上昇とともに、試験体の変形、鉄筋のひずみおよび、ひび割れの発生状況を測定した。

試験体の概要を図4に、実験状況を図5に示す。

#### 3.3 材料試験結果

##### 3.3.1 鉄筋引張試験

鉄筋の材料試験は、試験体作製に使用したD13、SD295を使用し、JIS Z 2241に基づき試験を行った。引張試験結果より、降伏強度( $\sigma_y$ ) 354.2N/mm<sup>2</sup>、引張強度( $\sigma_t$ ) 509.5N/mm<sup>2</sup>となった。なお、ヤング係数は「鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説1999：日本建築学会」<sup>1)</sup>(以下：RC規準)より $E_t = 2.05 \times 10^5$ とした。

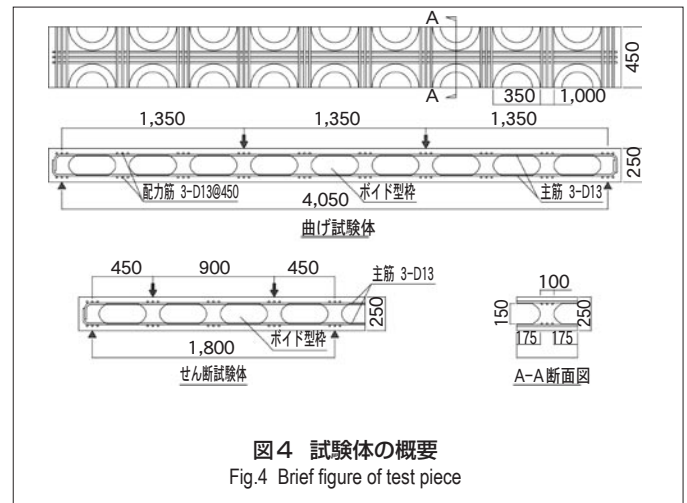


図4 試験体の概要  
Fig.4 Brief figure of test piece



図5 実験状況  
Fig.5 Photo of experiment

### 3.3.2 コンクリート圧縮試験

コンクリートは、 $21\text{N/mm}^2$ のレディーミクストコンクリートで、骨材の最大粒径は $20\text{mm}$ である。圧縮強度試験用のコンクリートは、ミキサ車から採取し、JIS A 1132に基づき供試体を作製し、現場封かん養生とした。コンクリートの圧縮試験結果を表2に示す。なお、表中のヤング係数はRC規準に従い算定した。

表2 コンクリートの材料試験結果  
Table 2 Result of concrete test

| 試験体 | 材齢  | 圧縮強度<br>$\sigma_c$ ( $\text{N/mm}^2$ ) | ヤング係数<br>$E_c$ ( $\text{N/mm}^2$ ) |
|-----|-----|----------------------------------------|------------------------------------|
| M 1 | 31日 | 30.8                                   | $2.46 \times 10^4$                 |
| M 2 | 32日 | 29.8                                   | $2.44 \times 10^4$                 |
| S 1 | 27日 | 29.4                                   | $2.43 \times 10^4$                 |
| S 2 | 27日 | 29.4                                   | $2.43 \times 10^4$                 |

### 3.4 試験体および載荷治具の自重による影響

本実験の場合、試験機に試験体を設置した状態(図5)では、試験体自重および載荷治具自重は、ロードセルによって測定できない。また、試験体自重によるたわみは測定できない。そこで各自重を算出し、実験結果の荷重に付加することとした。また、試験体自重によるた

わみは等分布荷重による中央変位の値を求め、実験結果の中央変位に加えることとした。

表3 試験体による影響  
Table 3 Influence of test piece

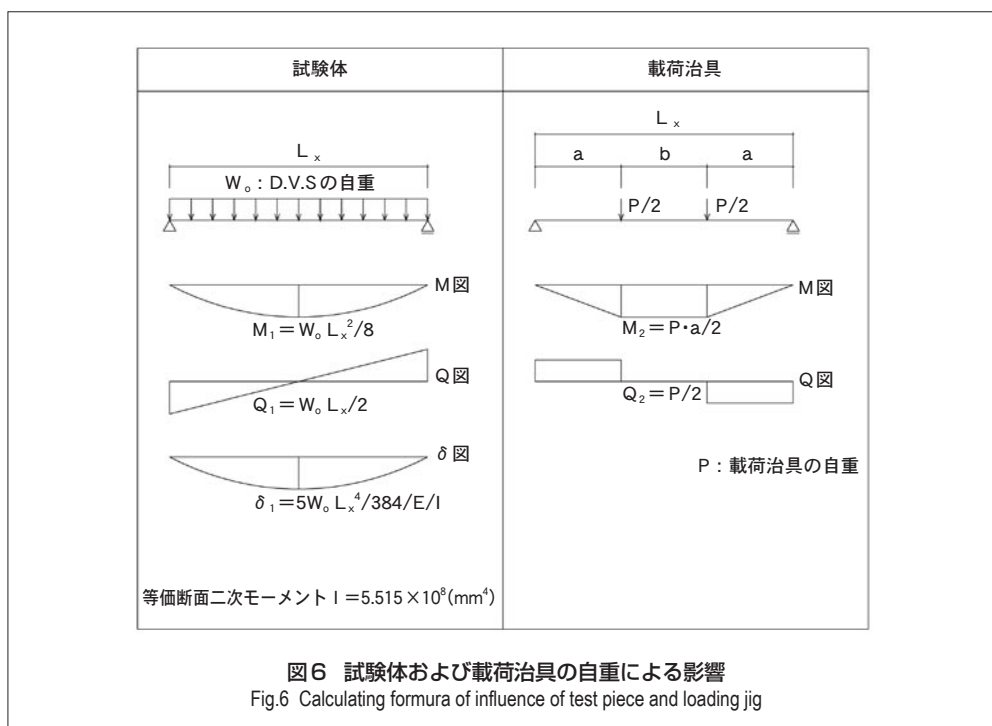
| 試験体      | $M_1$<br>( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) | $Q_1$<br>( $\text{kN}$ ) | $\delta_1$<br>( $\text{mm}$ ) |
|----------|-----------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|
| M 1, M 2 | 4.27                                    | 4.22                     | 0.54                          |
| S 1, S 2 | 0.84                                    | 1.88                     | 0.00                          |

表中)  $M_1$ : 試験体による最大モーメント  
 $Q_1$ : 試験体による最大せん断力  
 $\delta_1$ : 試験体による最大たわみ (図6参照)

表4 載荷治具自重による影響  
Table 4 Influence of loading jig

| 試験体      | 載荷治具<br>自重( $\text{kN}$ ) | $M_2$<br>( $\text{kN} \cdot \text{m}$ ) | $Q_2$<br>( $\text{kN}$ ) |
|----------|---------------------------|-----------------------------------------|--------------------------|
| M 1, M 2 | 1.78                      | 1.20                                    | 0.89                     |
| S 1, S 2 | 1.78                      | 0.40                                    | 0.89                     |

表中)  $M_2$ : 載荷治具による最大曲げモーメント  
 $Q_2$ : 載荷治具による最大せん断力 (図6参照)



### 3.5 実験結果

各試験体の荷重－変形関係を図7～図10に、ひび割れの発生状況を図11～図14に示す。

図7～図10中の下端筋降伏時とは、下端筋のひずみゲージが一箇所でも降伏ひずみに達したときである。試

験体降伏とは図7に示す各試験体の荷重－変位曲線より、直線の傾きが明らかに変化する直前とした。なお、各種荷重には3.4節で求めた試験体自重と載荷治具の自重を付加し、変形には試験体自重によるたわみを付加している。

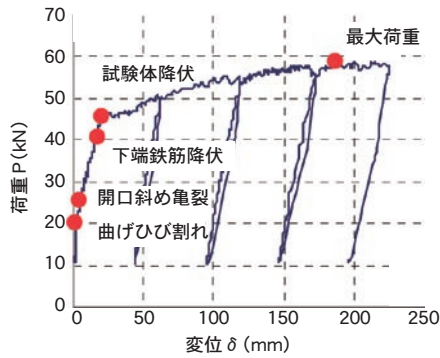


図7 荷重－変形関係(M1)  
Fig.7 Deformation under load graph(M1)

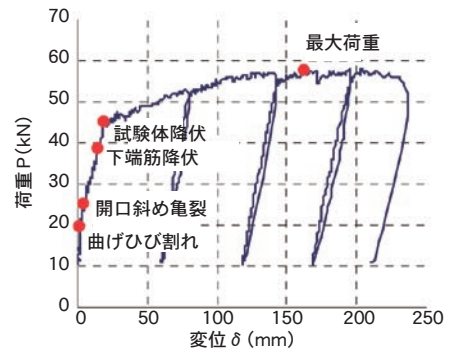


図8 荷重－変形関係(M2)  
Fig.8 Deformation under load graph(M2)



図11 ひび割れ発生状況(M1)  
Fig.11 Photo of crack initiation(M1)



図12 ひび割れ発生状況(M2)  
Fig.12 Photo of crack initiation(M2)

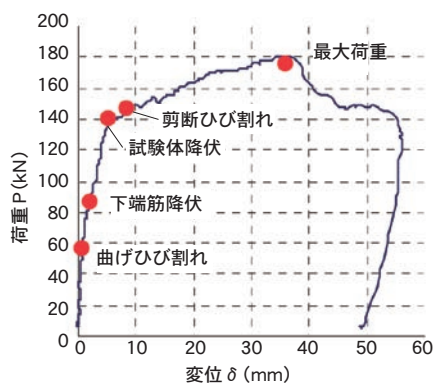


図9 荷重－変形関係(S1)  
Fig.9 Deformation under load graph(S1)

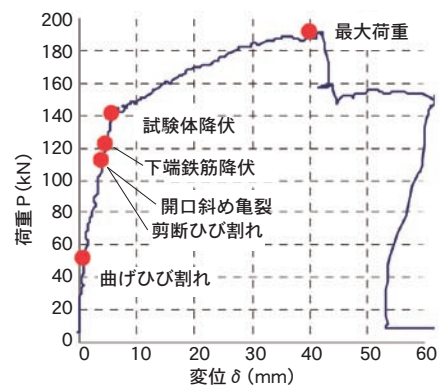


図10 荷重－変形関係(S2)  
Fig.10 Deformation under load graph(S2)



図13 ひび割れ発生状況(S1)  
Fig.13 Photo of crack initiation(S1)



図14 ひび割れ発生状況(S2)  
Fig.14 Photo of crack initiation(S2)

### 3.6 実験結果の検討

#### 3.6.1 曲げひび割れ発生前

試験体M1、M2の荷重－変形関係より、D.V.S.の断面二次モーメントを逆算した。計算は当社が定めるD.V.S.設計指針(案)より曲げひび割れが発生するまでとしている。ひび割れ発生前の断面二次モーメントは、計算値の断面二次モーメントとほぼ同じとなり、ボイド部の剛性評価の妥当性が検証できた。

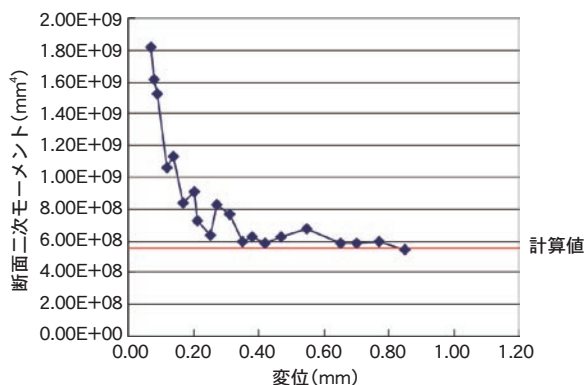


図15 ひび割れ発生時までの断面剛性(M1)  
Fig.15 Sectional rigidity before crack initiation(M1)

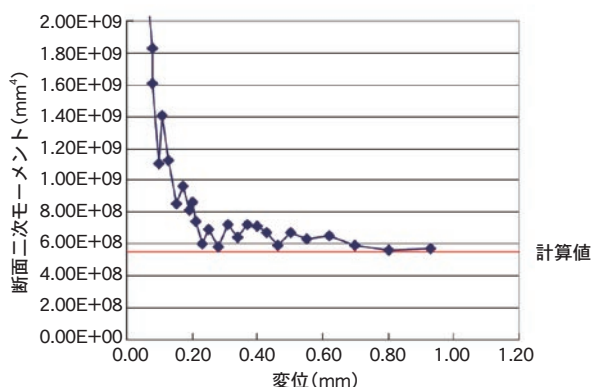


図16 ひび割れ発生時までの断面剛性(M2)  
Fig.16 Sectional rigidity before crack initiation(M2)

#### 3.6.2 試験体降伏時

RC規準に従い試験体降伏時の耐力を検討した。この場合、断面評価はI型断面としている。検討結果を表5に示す。

検討結果より、試験体降伏時の耐力はD.V.S.設計指針(案)より得られる計算値に比べ平均1.24倍となっており、試験体降伏時耐力の検討方法を検証することができた。

表5 試験体降伏時の検討

Table 5 Comparison of experimental value with calculated value on yield point

| 試験体 | 実験値            |                |                |                    | 計算値        |                | 実験値<br>計算値 |
|-----|----------------|----------------|----------------|--------------------|------------|----------------|------------|
|     | M <sub>1</sub> | M <sub>2</sub> | M <sub>3</sub> | M <sub>1+2+3</sub> | $\sigma_y$ | M <sub>y</sub> |            |
| M 1 | 4.27           | 1.20           | 23.91          | 29.38              | 354        | 23.44          | 1.25       |
| M 2 | 4.27           | 1.20           | 23.40          | 28.87              | 354        | 23.44          | 1.23       |

表中) M<sub>1</sub>: 試験体による曲げモーメント (kN・m)  
M<sub>2</sub>: 荷重治具による曲げモーメント (kN・m)  
M<sub>3</sub>: 荷重による曲げモーメント (kN・m)  
 $\sigma_y$ : 材料試験による鉄筋降伏強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
M<sub>y</sub>: 試験体降伏時の曲げモーメント (kN・m)  
 $M_y = a_t \sigma_y j \cdots (1)$   
ここで、 $a_t$ : 引張鉄筋の断面積 (mm<sup>2</sup>)  
j: 応力中心間距離 (mm)

#### 3.6.3 せん断ひび割れ発生時

RC規準に従い、せん断ひび割れ発生時の耐力を検討した。この場合、断面評価はボイド型枠間のコンクリート巾を等価な巾に置き換え検討した。検討結果を表6に示す。

検討結果より、せん断ひび割れ発生時の耐力はD.V.S.設計指針(案)より得られる計算値に比べ1.7～2.2倍となっており、せん断ひび割れ発生時耐力の安全率を確認できた。

表6 せん断ひび割れ発生時の検討

Table 6 Comparison of experimental value with calculated value on shearing crack initiation

| 試験体 | 実験値            |                |                |                    | 計算値        |                | 実験値<br>計算値 |
|-----|----------------|----------------|----------------|--------------------|------------|----------------|------------|
|     | Q <sub>1</sub> | Q <sub>2</sub> | Q <sub>3</sub> | Q <sub>1+2+3</sub> | $\sigma_c$ | Q <sub>a</sub> |            |
| S 1 | 1.88           | 0.89           | 69.11          | 71.88              | 29.4       | 32.79          | 2.2        |
| S 2 | 1.88           | 0.89           | 52.99          | 55.76              | 29.4       | 32.79          | 1.7        |

表中) Q<sub>1</sub>: 試験体によるせん断力 (kN)  
Q<sub>2</sub>: 荷重治具によるせん断力 (kN)  
Q<sub>3</sub>: 荷重によるせん断力 (kN)  
 $\sigma_c$ : 材料試験によるコンクリート強度 (N/mm<sup>2</sup>)  
Q<sub>a</sub>: 長期許容せん断力 (kN)  
 $Q_a = f_s (B^2 - \pi \phi_b^2/4) j \cdots (2)$   
 $f_s$ : コンクリートの許容せん断応力 (N/mm<sup>2</sup>)  
j: 応力中心間距離 (mm)

## 4. まとめ

新しい工法としてD.V.S.工法を提案し、曲げおよびせん断実験を行った。実験結果より、設計方法の妥当性が検証できた。

現在、設計指針をまとめている最終段階であり、今後、実験・有限要素解析を繰り返し、製品性能・技術を強化していく予定である。

## 謝辞

本実験研究に関して、広島工業大学 佐藤立美教授、貝畑雅雄氏(広島工業大学大学院)および研究生に多大なるご指導、ご協力をいただきました。ここに記し深く感謝の意を表します。

## 参考文献

1) 日本建築学会:鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説1999

## 執筆者

池田秀樹

Hideki Ikeda

平成9年入社

建築関連製品の開発に従事

一級建築士



楳木浩行

Hiroyuki Mominoki

平成7年入社

建築関連製品の開発に従事

一級建築士



藤井 毅

Takeshi Fujii

平成3年入社

建築関連製品の開発に従事

