

新型中空スラブ(商品名:セルボイドスラブⁱ⁾)の開発

Development of New Void Slab (Product Name: CELL VOID SLAB)

久保政照*

Masateru Kubo

ボイドスラブは鉄筋コンクリート造建物のスラブであり、自重を増やさずにスラブを厚くできるという特長がある。当社のワインディングパイプを埋設型枠とした中空スラブもそのひとつであり、学校や集合住宅などに採用され、多くの実績をもつ。一方、発泡スチロール製の埋設型枠(以下、ボイド型枠)を使用するスラブ工法もあり、近年では主に首都圏で採用されている。今回、ボイド型枠を使用する工法(以下、セルボイドスラブ)を開発し、スラブに要求される構造性能、遮音性能、耐火性能、施工性能を確認した。結果、中空スラブと同等性能であること、また設計の妥当性を示す資料を整えることができた。

The Void Slab is a slab for reinforced concrete buildings, and one of its features is that the thickness of the slab can be increased without increasing the weight of the slab itself. Our hollow slabs that use spiral pipe as embedded formwork are also a kind of Void Slab, and they have been adopted in housing complexes and schools, where they have a proven track record. There is also a method of making slabs using embedded Styrofoam formwork (hereafter, “void formwork”), and this has been adopted mainly in the Tokyo metropolitan area in recent years. This time, we developed a method using void formwork (hereafter, “CELL VOID SLAB”), and also confirmed that it is adequate in terms of the structural performance, sound insulation, fire resistance and workmanship required for slabs. As a result, we were able to prepare documents that demonstrate the validity of this design and that its performance is equivalent to that of hollow slabs.

1 はじめに

ボイドスラブは鉄筋コンクリート造建物のスラブであり、自重を増やさずにスラブを厚くできるという特長がある。そのため、スラブの曲げ剛性が大きく、在来スラブで必要となる小梁を省くことが可能となり、比較的大きいスパンやすっきりした空間を設計したい場合に採用されることが多い。また、スラブは柱や梁など躯体への負担軽減を図るために軽量化が常に要求されており、スラブ自重を軽くすることが可能となるボイドスラブの需要は増加している。

ボイドスラブの施工面では、中空スラブのようにワインディングパイプ下の配筋を経て、ワインディングパイプ据え付け、その後パイプ上の配筋を行うといった鉄筋工事と埋設型枠工事を同時に行う工法と、鉄筋工事の後でボイド型枠を据え付ける後施工型があり、主に首都圏では工程管理が容易となることを理由に後施工型が採用されるケースが増えている。

そこで、ラインアップのひとつとして、ボイド型枠を用いた後施工型のセルボイドスラブを開発した。また、より経済的な設計が可能となるようボイド型枠(図1)には多くの特長を付加している。

本報では、セルボイドスラブの概要と構造性能、遮音性能、耐火性能、施工性能の検証結果を報告する。



図1 セルボイドスラブのボイド型枠

2 セルボイドスラブの概要

1)セルボイドスラブと中空スラブの違い

中空スラブは、薄板鋼管製のワインディングパイプを2方向に配置したスラブである(図2)。一方、セルボイドスラブは、長方体形状の発泡スチロール製ボイド型枠を、格子状に配置したスラブである(図3)。

セルボイドスラブは鉄筋工事の後でボイド型枠を据付ける後施工型となっており、職人不足が課題となっている市場背景では、工程管理が容易となる後施工型が施工者に好まれている(図4)。

*建材事業部 技術開発課 技術開発第2グループ

i) セルボイドスラブ：当社の登録商標です。

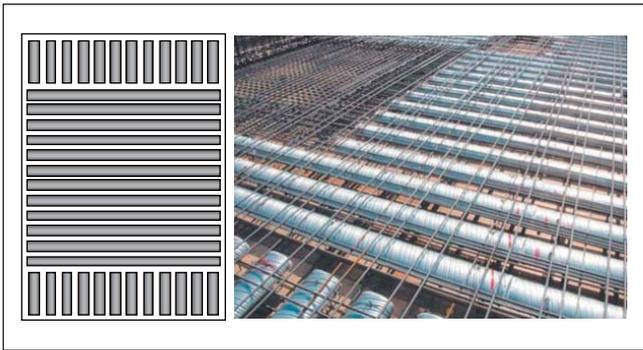


図2 中空スラブの割付

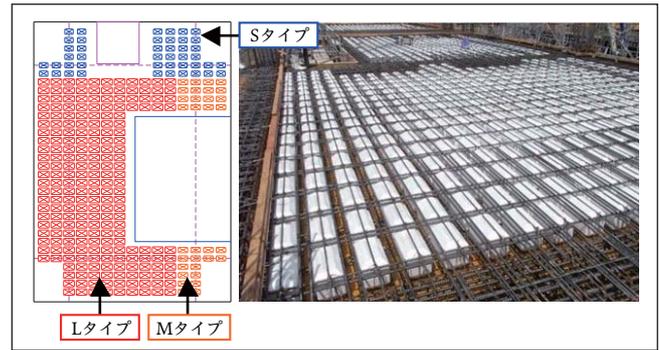


図3 セルボイドスラブの割付

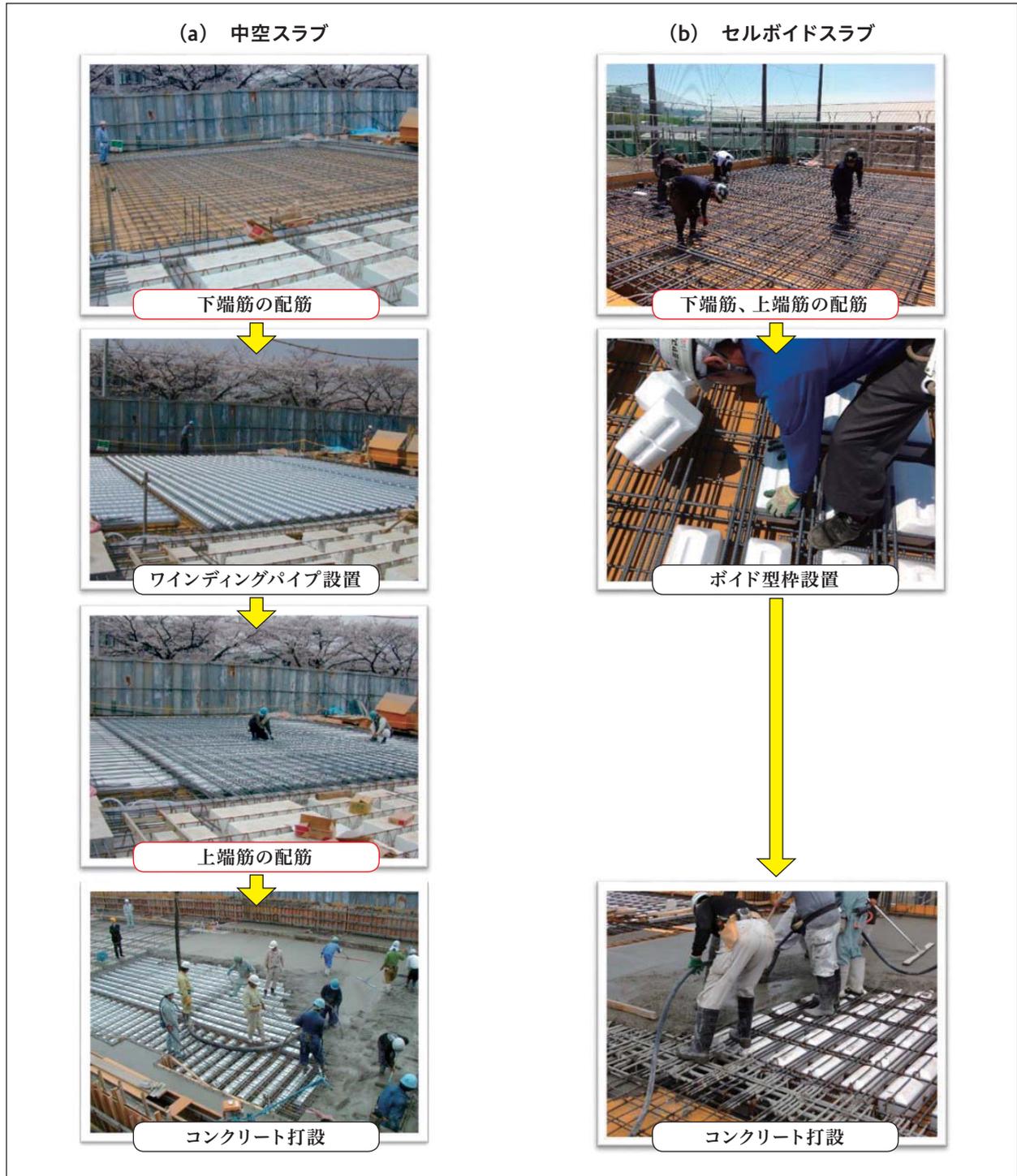


図4 ボイドスラブの施工手順

2) スラブ自重の軽量化

スラブの構造性能を維持しつつ、自重を軽くすることは、柱や梁など躯体への負担軽減につながる。セルボイドスラブは、同じ厚さの在来スラブに比べて27%~35%軽量化できることが特長となる(図5)。

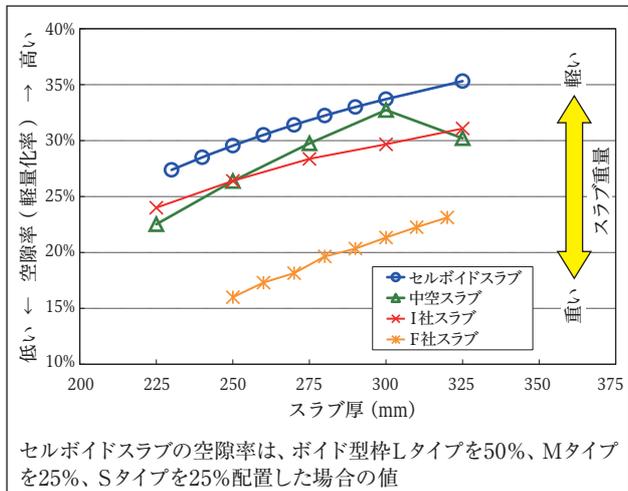


図5 スラブ厚さと空隙率の関係

ここで、スラブを軽量化するためにはボイド型枠を大きくすればよいが、コンクリートを充填するための鉄筋との間隔が確保できないという課題が生じる。そこで、配筋される鉄筋の本数によって、据え付けるボイド型枠のサイズを変える方法を選択した(図6)。これにより、従来型スラブより軽量化を図ることができた。

3) スラブ厚さのラインアップ

一般的なボイドスラブでは、スラブ厚さのラインアップが25mm毎であり、ワインディングパイプも25mm毎のサイズをラインアップしている。しかし、スラブ厚さを自由に設定したいという設計者の要望もあり、セルボイドスラブではボイド型枠のラインアップを10mm毎とした。結果、スラブ厚さの最適な設定ができ、より軽量で経済的な設計が可能となった。

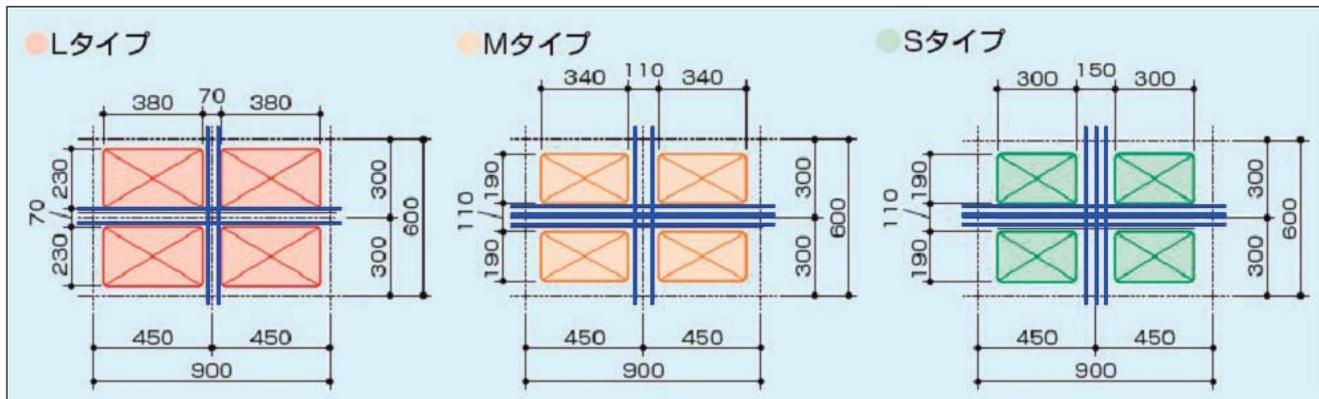


図6 ボイド型枠の平面形状ラインアップ



図7 構造試験状況

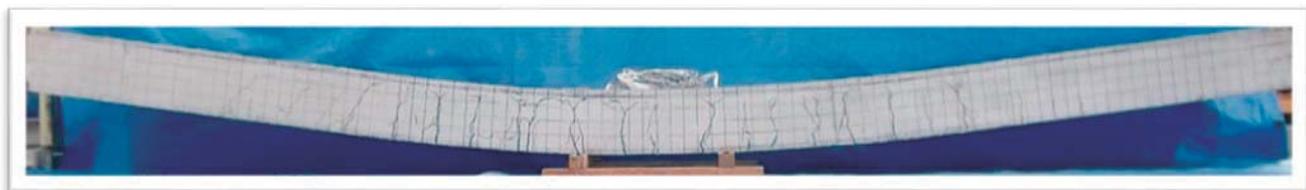


図8 ひび割れ状況

3 構造性能^{1)~3)}

3.1 試験目的と試験概要

セルボイドスラブの構造設計の妥当性について実験的に検証することを目的とする。試験は2点支持、2点载荷の純曲げ試験とし、中空スラブとの比較を行った。構造試験状況を図7に示す。

3.2 試験結果

1) 曲げ実験結果

曲げ実験はセルボイドスラブ7体、中空スラブ2体で計画した。いずれの試験体もまず試験体中央付近に曲げひび割れが発生し、次に支点に近い位置に曲げせん断ひび割れが発生した。その後、曲げひび割れが分散、進展し、最終的には試験体上面のコンクリートが圧縮破壊した。ひび割れ状況を図8に、セルボイドスラブと中空スラブの荷重-変形関係を図9に示す。

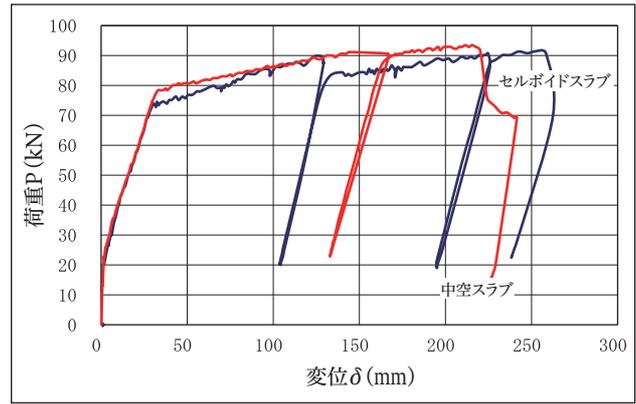


図9 荷重-変形関係

2) 各種曲げ耐力実験値と計算値の関係

曲げひび割れ発生時耐力実験値と計算値を図10に示す。ここで、セルボイドスラブの断面係数は単一の板とした等価剛性とし実験値を評価した。

結果、曲げひび割れ発生時耐力実験値と計算値の比は、0.94~1.29の範囲であった。これは、鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説（以下、RC規準）と同様の傾向にあり、設計で使用する断面剛性の妥当性が確認できた。

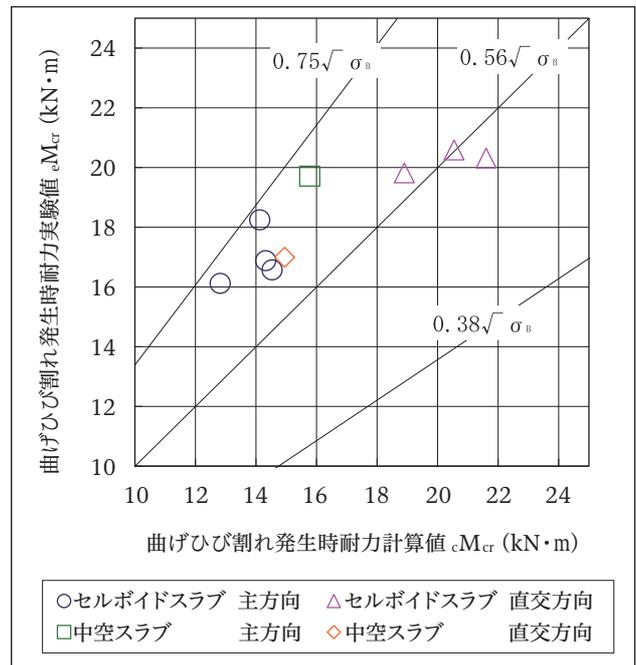


図10 曲げひび割れ発生時耐力実験値と計算値

【曲げひび割れ発生時耐力計算値】

$$P_{cr} = \frac{2M_{cr}}{a} \quad \dots (3.1)$$

$$M_{cr} = 0.56 \sqrt{\sigma_B} \cdot Z$$

- ここで、 P_{cr} : 曲げひび割れ発生時耐力 (N)
- M_{cr} : 曲げひび割れ発生時モーメント (N・mm)
- a : 支点間長さ (mm)
- σ_B : コンクリート強度実験値 (N/mm²)
- Z : 断面係数 (mm³)

主筋降伏時耐力実験値と計算値を図11に示す。

結果、主筋降伏時耐力実験値と計算値の比は、1.01~1.25の範囲にあり、主筋降伏時耐力は、RC規準による曲げ降伏時耐力の計算式 (3.2) 式にて妥当に評価できた。

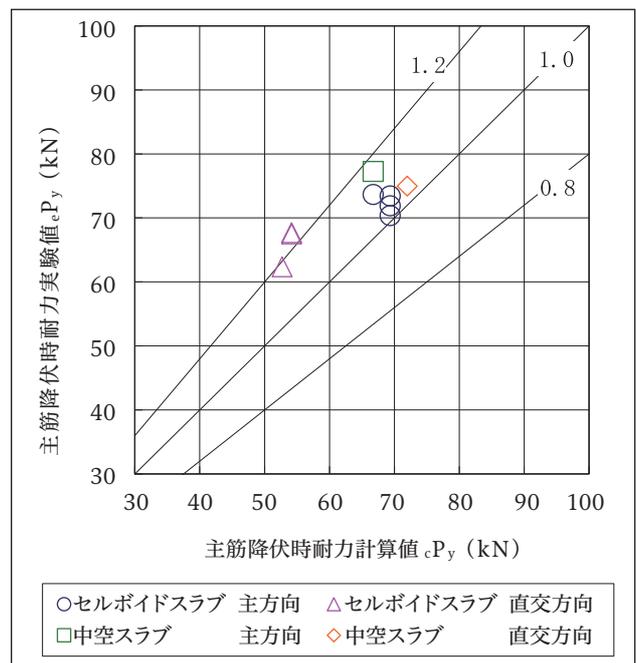


図11 主筋降伏時耐力実験値と計算値

【主筋降伏時耐力計算値】

$$P_y = \frac{2M_y}{a} \quad \dots (3.2)$$

$$M_y = 0.9 a_i \cdot \sigma_y \cdot d$$

ここで、 P_y : 主筋降伏時耐力 (N)
 M_y : 曲げ降伏時モーメント (N・mm)
 a : 支点間長さ (mm)
 a_i : 引張鉄筋の断面積 (mm²)
 σ_y : 主筋の降伏強度 (N/mm²)
 d : 有効せい (mm)

3) せん断実験結果

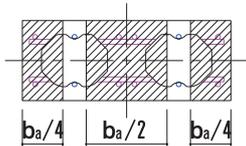
せん断実験はセルボイドスラブ14体、中空スラブ6体で計画した。いずれの試験体もまず中央付近に曲げひび割れが発生した。その後、支点と荷重点間でせん断ひび割れが発生、最終的にはせん断ひび割れが拡大し破壊に至った。ひび割れ状況を図12に、セルボイドスラブと中空スラブの荷重-変形関係を図13に示す。

4) 最大せん断耐力

最大せん断耐力実験値と荒川min式による計算値 ${}_cQ_{ul}$ の関係を図14に示す。なお、計算値はコンクリート体積が等価となる幅 b_a を用いた(3.3)式で計算している。結果、最大せん断耐力実験値と(3.3)式計算値の比は1.03~1.64の範囲であった。また、セルボイドスラブは中空スラブと同等の性能を有することが確認できた。

【最大せん断耐力計算値】

$${}_cQ_{ul} = \left(\frac{0.092 \cdot k_u \cdot k_p (18 + \sigma_B)}{M/Qd + 0.12} \right) b_a \cdot j \quad \dots (3.3)$$



ここで、 ${}_cQ_{ul}$: コンクリート体積が等価となる幅 b_a にて算出した 最大せん断耐力 (N)
 k_u : 断面寸法による補正係数 (RC規準より)
 k_p : 引張鉄筋比 P_t による補正係数 ($k_p = 0.82P_t^{0.23}$)
 b_a : コンクリート体積が等価となる幅 (mm)
 σ_B : コンクリート強度実験値 (N/mm²)
 M/Qd : せん断スパン比 (a/D)
 j : 応力中心間距離 (mm)

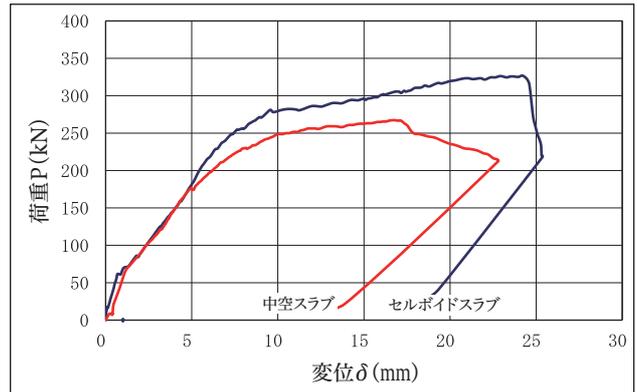


図13 荷重-変形関係

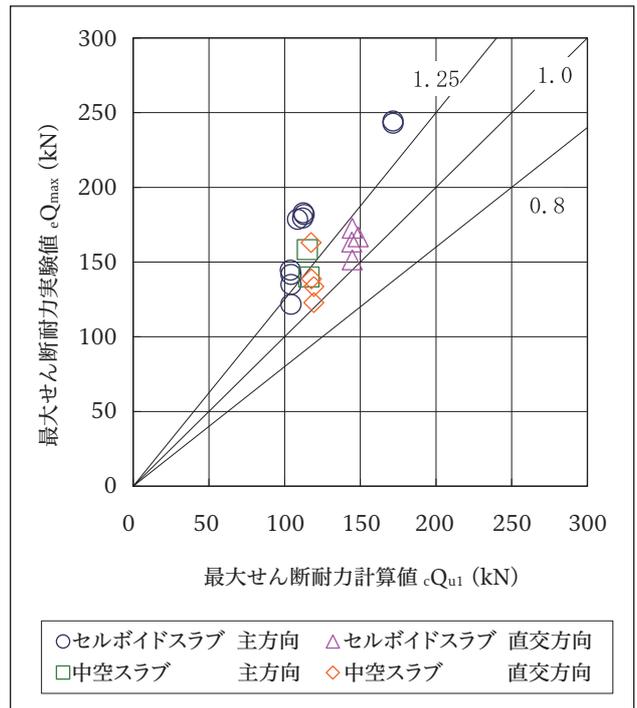


図14 最大せん断耐力実験値と計算値



図12 ひび割れ状況

4 遮音性能^{4)~6)}

4.1 試験目的と試験概要

セルボイドスラブの重量床衝撃音遮断性能を、インピーダンス特性を用いて検証することを目的とする。遮音試験状況を図15に示す。



図15 遮音試験状況

4.2 試験結果

インピーダンスレベル測定結果を図16、図17に示す。結果、セルボイドスラブと中空スラブのインピーダンスレベルは、ボイド上・ボイド間ともに有意な差は見られなかった。また、(4.1)式より算出される基本インピーダンスレベル計算値と衝撃インピーダンスレベル実測値を比較した結果を表1に示す。結果、衝撃時間内応答が試験体の端部で反射波の影響を受けたため、セルボイドスラブ、中空スラブともに衝撃インピーダンスレベル実測値のほうが小さくなった。そのため、基本インピーダンスレベル計算値(無限大版インピーダンスレベル)と衝撃インピーダンスレベル実測値が等しくなることは確認できなかった。しかし、セルボイドスラブと中空スラブの実測値と計算値の差はみられず、同等の性能であることが確認できた。

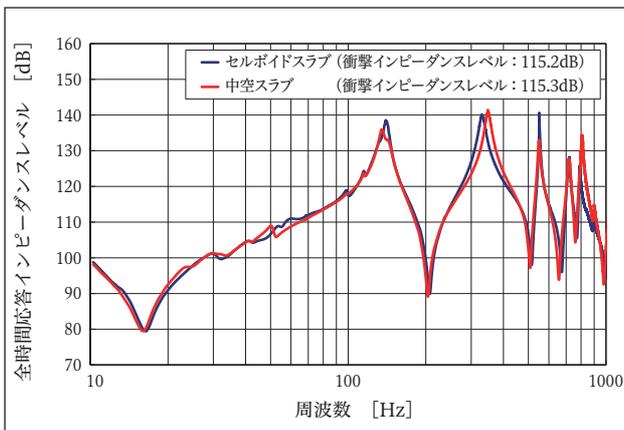


図16 インピーダンス測定結果(ボイド型枠上)

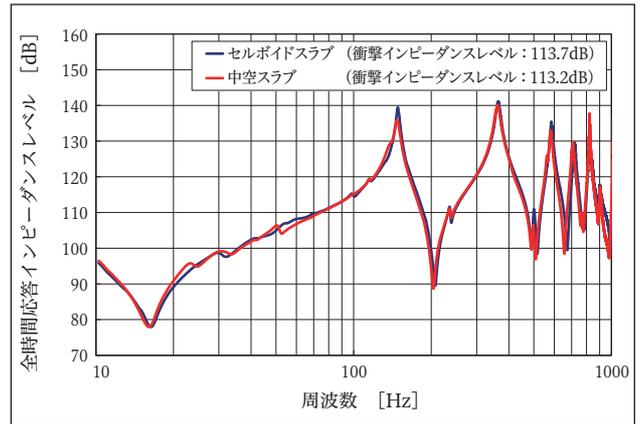


図17 インピーダンス測定結果(ボイド型枠間)

$$L_z = 20 \cdot \log(8 \cdot \sqrt{B \cdot m}) = 20 \cdot \log(8 \cdot \sqrt{E \cdot I \cdot m}) \dots (4.1)$$

ここで、 L_z : 基本インピーダンスレベル [dB]

B : スラブの曲げ剛性 [Nm^2]

m : 面密度 [kg/m^2]

I : 断面2次モーメント [m^4]

E : ヤング係数 [N/m^2]

表1 インピーダンスレベル比較

試験体	衝撃インピーダンスレベル		基本インピーダンスレベル
	ボイド上	ボイド間	
セルボイドスラブ	115.2dB	113.7dB	117.7dB
中空スラブ	115.3dB	113.2dB	117.9dB

5 耐火性能

5.1 試験目的と試験概要

セルボイドスラブが建築基準法第2条第七号の耐火構造の規定に適合することを確認する。試験は第三者機関となる一般財団法人建材試験センターにて行い、遮熱性能において不利となるスラブ厚さ225mmと、ボイド型枠の有機量が多いスラブ厚さ325mmを各2体ずつ試験した。耐火試験状況を図18に示す。

5.2 試験結果

結果、建築基準法第2条第七号の耐火構造の規定に適合し、国土交通大臣の認定を取得することができた。加熱温度測定結果を図19に示す。

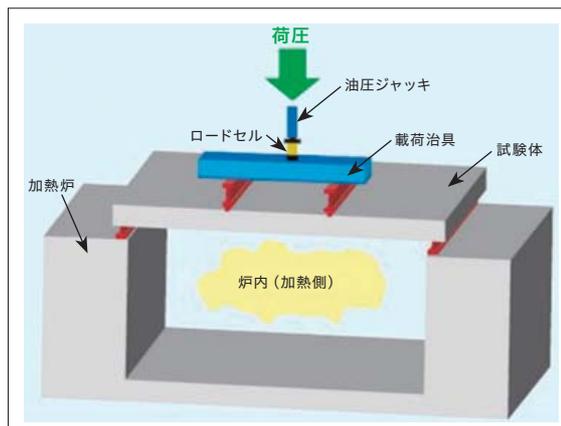


図18 耐火試験状況

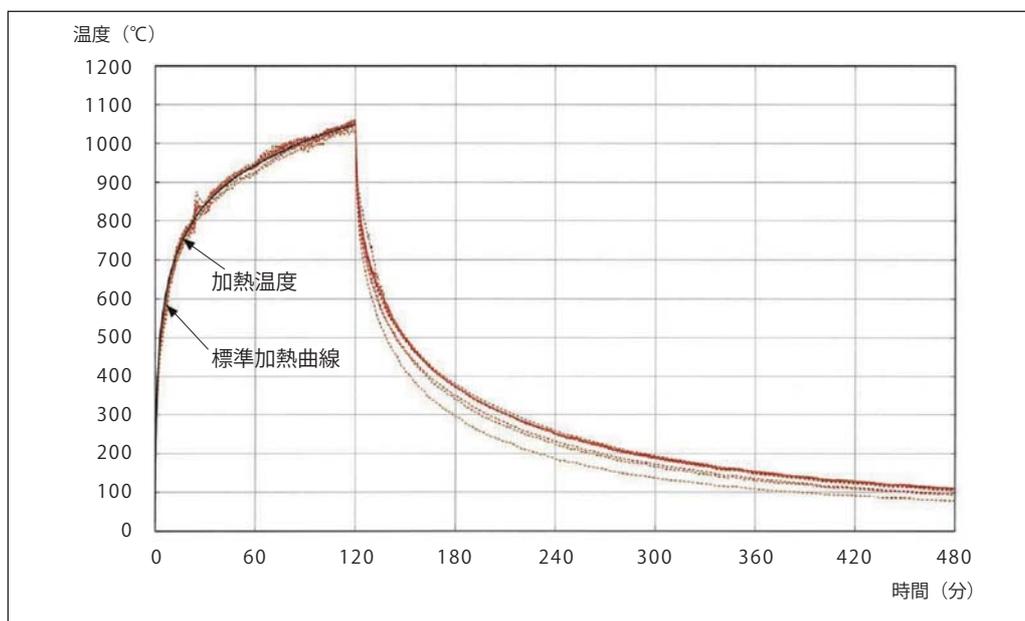


図19 加熱温度測定結果

6 施工性能

6.1 試験目的と試験概要

施工試験とコンクリート打設試験により、施工しやすさやコンクリート打設時に有害な変形、ボイド型枠の浮上りがなことを確認する。施工試験では、実物件の施工者にてボイド型枠を設置し、その状況を確認した。打設試験では、コンクリート打設時のボイド型枠の浮上りなどを確認するため、コンクリート硬化後に試験体を切断し確認した。施工試験、打設試験ともにスラブ厚さ230mm、325mmを1体ずつ試験した。施工状況を図20に示す。

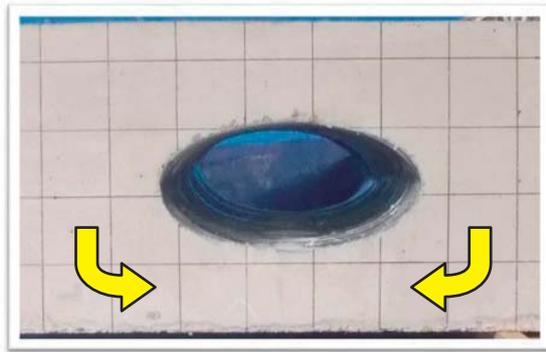
6.2 試験結果

中空スラブのワインディングパイプは、断面が楕円または円形のためコンクリートの充填性がよい。セルボイドスラブ

も同様にコンクリートの充填性をよくするため、ボイド型枠の下面四辺を面取りし、さらに角部は円弧状としている。施工試験や打設試験より、コンクリート打設時に有害な変形などがないことやボイド型枠の浮上り量を確認できた(図21)。



図20 施工状況



(a) 中空スラブ



(b) セルボイドスラブ

図21 中空スラブとセルボイドスラブの切断面

参考文献:

- 1) 社団法人日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規
準・同解説,2010
- 2) 奥田・佐藤：楕円回転体ボイドを有する中空スラブに
関する実験的研究、日本建築学会大会学術講演梗概
集,pp463,2005.9
- 3) 倉本、新田ら：新型中空スラブの構造性能に関する実
験的研究 その1 実験計画、その2 実験結果,日本建築
学会大会学術講演梗概集, pp477, 2014.9
- 4) 鹿倉、井上ら：楕円形ボイドスラブの中空部への弾性材
挿入による音響性能への影響,日本騒音制御工学会研
究発表会講演論文集,pp261,2006.9
- 5) 井上、木村、豊田：ボイドスラブを対象とした重量床衝
撃音レベルの計算法の検討,日本建築学会大会学術講
演梗概集,pp187,1998.9
- 6) 鹿倉、井上：発泡製多面立方型中空型枠を用いたボイド
スラブの振動特性について,日本建築学会大会学術講
演梗概集,pp193,2014.9

執筆者:

久保政照

2006年入社

建築・土木関連製品の開発に従事



7 まとめ

経済的かつ構造面でも建物に優しいスラブを構築することが可能となるセルボイドスラブを開発した。本報では、その構造性能、遮音性能、耐火性能、施工性能について検証結果を報告した。

結果、セルボイドスラブは市場に要求される性能を満足すること、中空スラブと同等の性能を有することが確認できた。