

防水層を内蔵した合成スラブ工法の開発

小柳 光生
丹羽 博 則

堀 長 生
藤 田 佳 広
(本店設計部)

津 田 和 明
藤 井 彰 人
(本店設計部)

Development of Steel-Deck Concrete Composite Slab included Waterproofing Sheet

Mitsuo Koyanagi
Hironori Niwa

Nagao Hori
Yoshihiro Fujita

Kazuaki Tsuda
Akihito Fujii

Abstract

A new deck slab structure for roof parking has been developed that incorporates a waterproofing sheet. It is called "sheet in slab" and it provides a low-cost structure. The waterproofing sheet has the property of fine tensile strain, and is superior to waterproofing if cracking occurs in the concrete. Furthermore, the top and bottom slab act together against structural forces by bond strength. Thus, the deck slab can be thinner, and the resulting light weight provides a low-cost structure. This paper describes the results of bending ultimate strength tests, deflection tests under long-term loading, and a traveling test by forklift truck etc. The results confirm that this slab provides superior structural efficiency. Fire tests also show improved fire resistance capacity.

概 要

屋上駐車場スラブのローコスト化を目的として、防水機能を内蔵したデッキ床工法「シートインスラブ[®]」を開発した。本工法の特徴は、本防水層の伸び変形が大きいため、コンクリートにひび割れが発生しても防水機能を損なうことがないことと、本防水層のコンクリートとの接着強度が大きいためにより、上部の押さえコンクリートとの合成効果が期待できるので、防水層下部のコンクリート厚を従来工法より薄くすることが可能となることである。ここでは屋上駐車場スラブとして必要な曲げ強度、長期たわみ抵抗性、耐走行性能に関する試験を実施し、本工法が優れた構造性能を有することを確認した。さらに耐火試験を行い、耐火構造の大臣認定を取得した。

1. はじめに

従来、デッキプレートを用いた合成スラブを屋上駐車場スラブとして使用するためには、スラブ躯体の上に防水層を敷き、その上に車輪に対する防水層の損傷防止のために、コンクリートまたはアスファルトコンクリートの厚み80~100mmが必要であった。そのため、スラブ躯体の他に押さえ材の自重増加による柱・梁材のサイズアップを見込む必要があった。

「シートインスラブ[®]」工法では、コンクリートとの付着強度が高く、上下コンクリートの一体化が期待できる防水層を使用することで、押さえ材によるデッキスラブの剛性向上とひび割れ抵抗性を目指し、トータルのスラブ厚みを薄くすることを目標としている。この自重の軽減により、柱・梁部材のローコストを図ることができる。なお、屋上駐車場スラブのイメージをFig. 1に示す。

本報では、屋上駐車場スラブの構造性能として必要な曲げ強度、長期たわみ抵抗性、耐走行性能に関する試験、ならびに耐火性能試験を行ったので、それらの性能に関する報告を行う。

2. 使用材料

本工法に使用する防水シートは、エチレン酢酸ビニル樹脂系（EVAシート）であり、この材料は厚さ1mm、単位幅1mでロール状の荷姿である。シート自体の伸び率は100%以上であり、10年以上前から屋上、地下外壁などのメンブレン防水工法として多くの施工実績を有している。シートの断面構造をFig. 2に示す。施工方法は、ポリマーセメントペーストを接着材として、躯体表面に敷き込み、その上からモルタル押えをすることが多いが、シート自体が起毛構造となっており、モルタルやコンクリートとの接着強度は1N/mm²前後と比較的大きいこと、施工時期が下地躯体の含水率に影響されにくいことなどの特長を有する。施工状況をPhoto 1に示す。

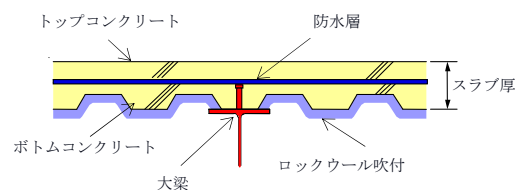


Fig. 1 屋上駐車場スラブ
deck slab structure for roof parking

合成デッキは原則としてEZ75-1.2（日鐵建材工業株）を使用する。またコンクリートは設計基準強度24N/mm²程度の普通コンクリートに適用する。

3. 曲げ載荷試験

3.1 試験計画

防水層を内蔵した本工法の構造性能（初期剛性、ひび割れ荷重、最大耐力など）が、従来のコンクリート合成デッキ（プレーン）と比べて遜色なく一体化していることを単純支持および連続支持の曲げ加力実験で確認する。またひび割れ発生後の、漏水抵抗性能についても確認する。

試験体一覧をTable 1 に、試験体形状をFig. 3 に示す。

単純支持は、防水層内蔵タイプと比較用のプレーンタイプそれぞれ1体ずつ計2体とする。試験体形状は、全長3.5m、幅0.6m、スラブ厚 山上80mmとするが、防水層内蔵タイプは防水層厚を考慮して山上85mmとする（防水層の下面厚40mm）。連続支持は単純支持と同様に計2体、全長 6.5m、幅 0.6m、スラブ厚も単純支持と同じとする。加力方法は、Fig. 4 に示すが、単純支持、連続支持ともに支点間距離 300cm、3等分点加力とする。

合成デッキは、日鐵スーパーデッキ EZ-75-1.2mmを使用する。補強筋は、スラブ天端からかぶり3cm位置に溶接金網φ6-150@を配置する。コンクリート強度はボトム、トップコンクリートとも呼び強度 21N/mm²（水セメント比63%）、スランプ15cmとした。

3.2 試験体製作

a) 使用材料

EZ75-1.2、デッキ山上厚さ80mm（日鐵建材工業株の技術資料より）の材料定数をTable 2 に示す。デッキ材料の種類はSDP2GAであり、この材料の降伏点は295N/mm²以上、引張強さは400N/mm²以上と規定されている。デッキ引張試験結果をTable 3に示すが、降伏点は335N/mm²であった。使用したコンクリートのフレッシュ性状および圧縮強度試験結果をTable 4, 5に示す。圧縮強度（現場封かん養生）は加力終了時に29.5~33.1N/mm²であり、平均30N/mm²程度の圧縮強度であった。

b) 試験体の施工

防水層タイプの下部コンクリートおよびプレーンタイプの全コンクリートは、2006年5月中旬に打ち込んだ。防水層タイプの下地面は木ゴテで荒均しを行ない、打込み後4日に防水施工を実施した。施工方法は、プライマー処理し、乾燥後、ポリマーセメントペーストを鏝で塗り込みシートを敷き込みローラーで押さえながら密着させた。なお、連続支持試験体は、シートの重ね継ぎ部を考慮するため、幅60cmのうち、35cm付近でシートの重ね継ぎ部を設けた。その重ね代は10cmとした。上部コンクリートの打込みは、防水層施工後1週に行い、試験体をブルーシートで覆い、そのまま1週間養生を行った。その後、試験時まで、気中養生とした。



Photo 1 施工状況
Construction Situation

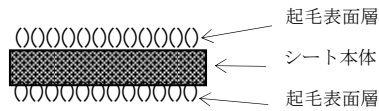


Fig. 2 シートの断面構造
Cross Section of EVA Sheet

Table 1 試験体一覧
List of Test Specimens

試験体 No.	支持	防水層の有無
No. S-1	単純支持	無（プレーン）
No. S-2		有り
No. L-1	連続支持	無（プレーン）
No. L-2		有り

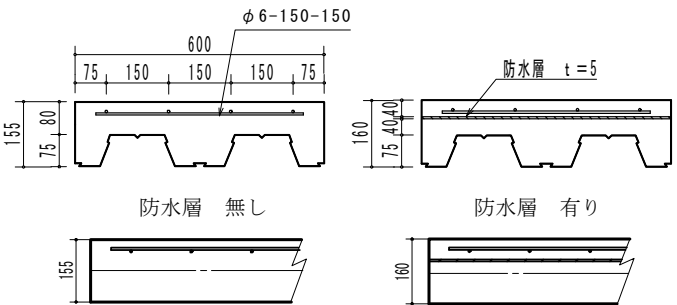


Fig. 3 デッキスラブ試験体の概要（断面図）
Configuration of Slab Specimen (Cross Section)

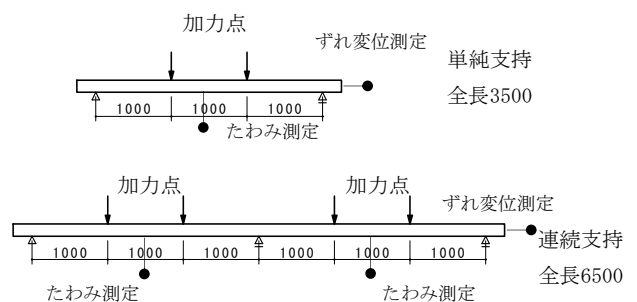


Fig. 4 加力方法
Method of Loading

Table 2 デッキ材料定数
Standard Values of Deck Materials

	中立軸位置 (cm)	断面二次モーメント (cm ⁴ /M)	断面係数 (コンクリート側) (cm ³ /M)	断面係数 (デッキ側) (cm ³ /M)	備考
有効等価断面	5.71	18,700	3,270	127	引張り側のコンクリートを無視
全断面有効等価	7.37	29,000	3,940	3,567	-

3.3 構造性能の検討

a) 曲げ性能

単純支持の構造計算の検討を行う。設計積載荷重 $w_p = 5\text{kN/m}^2$ (500kgf/m²) と仮定した時、単位長さ幅1mの中央曲げモーメントは

$$M_p = 1/8 \times w_p \times L^2 = 5.62 \text{ kN}\cdot\text{m} \quad \dots\dots\dots (1)$$

となる。デッキ面の降伏曲げモーメント ($M_y = cZt \times F$)、曲げひび割れモーメント ($M_{cr} = Z \times \sigma_{cr}$) についても整理してTable 6 に示す。

このとき、L:スパン長、F:デッキ降伏強度(実験値)、 σ_{cr} :コンクリート曲げ強度 ($0.56\sqrt{\sigma_B} = 3.07\text{N/mm}^2$ 、 σ_B :圧縮強度)、 cZt :デッキ側断面係数(引張側コンクリート無視)、 Z :断面係数(全断面有効)である。

今回の実験では3等分荷重とし、2点加力とするため、PP:集中荷重(全荷重)と中央曲げモーメント: M_{pp} との関係は、下式となる。

$$M_{pp} = 1/6 \times PP \times L \quad \dots\dots\dots (2)$$

上述の曲げモーメントに相当するPPをそれぞれ算出し、Table 6 に整理して示す。

b) 界面のせん断応力

デッキスラブ(スラブ厚8cm)の設計用せん断応力を試算する。せん断力とせん断応力の関係式は以下の通り。

$$T_{max} = V \times S / (I \times B) \quad \dots\dots\dots (3)$$

このとき V:せん断力、I:断面二次モーメント、S:断面一次モーメント、B:単位幅

内法スパン3mの一方方向スラブに設計荷重(固定+積載)8000 N/m²が作用する時、スラブ上面から4cm位置(防水層付近)のせん断応力: T_{max} は、

$$T_{max} = V \times S / (I \times B) = 12000 \times 2148 / (29000 \times 100) = 8.89 \text{ N/cm}^2 = 0.09 \text{ N/mm}^2$$

となる。

一方、本防水層の界面せん断強度は、後述する通り1.4~1.5N/mm²を有するため、設計荷重作用時のせん断応力の10倍程度以上のせん断強度を持っている。

c) 弾性たわみ

単純支持スラブの3等分点荷重によるスパン中央の弾性たわみは以下の計算式で表される。ここでは設計荷重

$$P = 6.75\text{kN} \quad (675\text{kgf}) \text{ に対する弾性たわみを算出する。}$$

$$\text{たわみ } y = 5/288 \cdot (P \cdot l^3 / (E \cdot I)) \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$y = 5/288 \times 6.75 \times 300^3 / (2.74 \times 10^3 \times 17,400) = 0.067 \text{ cm}$$

つまり、設計荷重 $P = 6.75\text{kN}$ (675kgf) に対する弾性たわみ計算値は $y = 0.067\text{cm}$ である。

3.4 単純支持スラブの加力試験結果

単純支持スラブのNo. S-1 (ブレン)、No. S-2 (防水層有り) について加力試験を行った。その結果をFig 5 に示す。最大たわみ50mmに達するまで載荷を行ったが、その時点までの最大荷重は以下の通り。

- No. S-1 (ブレン) : 61 kN
- No. S-2 (防水層有) : 63.54 kN

Table 3 デッキ引張強度試験結果
Results of Deck Tension Strength test

厚 (mm)	幅 (mm)	断面積 (mm ²)	最大応力 (N/mm ²)	降伏点 (N/mm ²)	破断強度 (N/mm ²)
1.2	27.3	32.7	451	335	396

Table 4 コンクリートのフレッシュ性状
Results of Fresh Concrete test

	打込み日	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	コンクリート温度 (°C)
下部コンクリート	5/13	14.0	5.5	2275	20.0
上部コンクリート	5/24	13.5	3.9	2263	21.5

Table 5 コンクリート圧縮強度試験結果
Results of Concrete Strength

	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	備考
下部コンクリート	28	28.3	26.3	
	39	30.3	27.4	
	75	33.1	27.8	加力試験終了時
上部コンクリート	28	26.2	25.5	
	64	29.5	27.1	加力試験終了時

Table 6 単純支持スラブの曲げ性能
Beding Feature of Simple Slab

	設計積載荷重 ①Mp	自重による ②Mo	設計用 ①+②Md	降伏曲げ My	曲げひび割れ Mcr
曲げモーメント (kN・m)	5.62	3.24	8.86	42.55	10.98
3等分荷重 (kN)	6.75	-	-	47.2	9.29

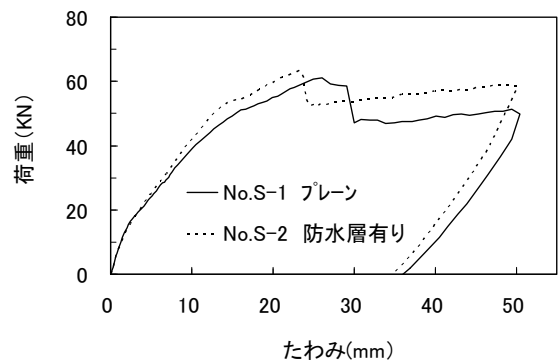


Fig. 5 荷重とたわみ量の関係 (単純支持)
Relation of Loading and Deflection

Fig. 5から、試験体No. S-1, No. S-2はいずれも荷重60 kN程度になると、急激に耐力が低下しているが、これはデッキプレートの降伏に伴い、その界面でずれ変形を生じたことによる耐力低下と判断される。

デッキプレートの界面でのデッキとコンクリートとのずれ変形を測定した例をNo. S-2についてFig. 6 に示す。荷重63kN付近で、デッキ界面にずれを生じ始め、最終的に試験体両サイドで3mm程度のずれ変形が認められた。

最大荷重について、実験値と計算値を比較してTable 7 に示す。デッキのずれ変形で耐力が低下し始めるところから、最大荷重計算値 P_B は、デッキ降伏時点（実測値）と判定したが、実験値は計算値 P_B の 1.3倍前後であった。

曲げひび割れ荷重については計算値9.29kNに対して実験値の方は不明瞭であるが、コンクリートにひび割れが発生していると思われるデッキの歪み値 150×10^{-6} での荷重値は、No. S-1, No. S-2いずれも11.5kN前後であった。これは $11.5/9.3=1.24$ の比となる。

つぎにたわみ計算値との比較を行う。ここでは設計荷重時 $P=6.75kN$ (675kgf) におけるたわみ計算値と実測値で比較してTable 8 に示す。良く一致していることが分かる。

3.5 連続支持スラブの加力試験結果

連続支持スラブNo. L-1 (プレーン), No. L-2 (防水層有り) について加力試験を行った。その結果をFig. 7 に示す。連続スラブの場合、中央たわみはそれぞれのスラブ中央で測定されるが、今回の結果は殆ど同一の挙動であったため、一方のみの測定結果を表示している。この図から、防水層を有するNo. L-2スラブは比較用のNo. L-1スラブと同等以上の構造性能を有していることが確認された。曲げひび割れ荷重はNo. L-1, No. L-2それぞれ35.6kN (17.8kN), 15.3kN (7.7kN)であった。最大荷重はNo. L-1, No. L-2それぞれ147.0kN (73.5kN), 159.8kN (79.9kN)であった。なお、連続支持スラブは 2枚の総和であるため、単純支持スラブと比較する場合、荷重総和を1/2とした () 内の終局荷重との比較になる。

3.6 試験結果の考察

防水層内蔵タイプの構造性能はプレーンタイプと比較して、初期剛性、最大荷重ともにほぼ同等の性能であった。単純支持の最大荷重はデッキ降伏値を使用した計算値の1.3倍前後であることを確認した。

なお、連続支持スラブの場合、連続ばりにおける中間支持部の曲げモーメントが、曲げひび割れモーメント(曲げ強度: $0.56\sqrt{F}=3.07N/mm^2$) となる時の荷重計算値を算出し、ひび割れ荷重実験値と比較してTable 9 に示す。No. L-2のひび割れ荷重が小さかった原因は不明である。また、終局時には中間支持部で過大ひび割れを生じて回転を起こすため、終局荷重は単純支持スラブと同程度の値となることが予想される。そのため、連続支持の場合の最大荷重計算値は単純支持の場合と同じ値と設定して、

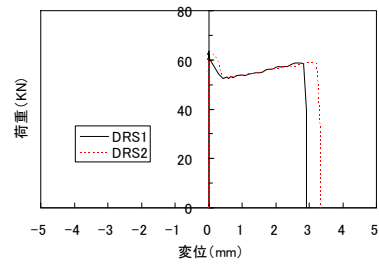


Fig. 6 荷重とずれ変形の関係
Relation of Loading and Slip Deflection

Table 7 実験結果と計算値の比較 (単純支持)
Experimental Value and Calculated Value

	ひび割れ荷重 (kN)		最大荷重 (kN)		①/②比率
	実験値	計算値	①実験値	②計算値	
No.S-1 (プレーン)	11.5	9.3	61.0	47.2	1.29
No.S-2 (防水層有)	11.5		63.5		1.35

註) No. S-2の場合も便宜的にNo. S-1の荷重計算値②を使用

Table 8 設計荷重時におけるたわみ実験値と計算値
Experimental and Calculated Value on Design Load

試験体記号	内容	設計荷重時のたわみ (mm)		たわみの比率 ①/②
		実験値 ①	計算値 ②	
No. S-1	プレーン (厚さ155mm)	0.69	0.67	1.03
No. S-2	防水層有り (厚さ160mm)	0.67		1.00

註) No. S-2の場合も便宜的にNo. S-1のたわみ計算値②を使用

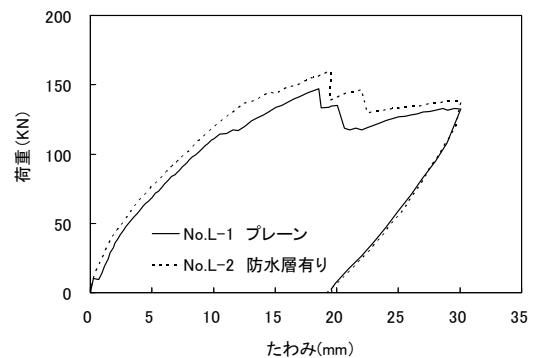


Fig. 7 荷重とたわみ量の関係 (連続支持)
Relation of Loading and Deflection

Table 9 実験結果と計算結果の比較 (連続支持)
Comparison with Experimental and Calculated results

	ひび割れ荷重 (kN)		最大荷重 (kN)		①/②比率
	実験値	計算値	①実験値	②計算値	
No.L-1 (プレーン)	35.7 (17.8)	29.0 (14.5)	147.0 (73.5)	94.4 (47.2)	1.56
No.L-2 (防水層有)	15.4 (7.7)		159.8 (79.9)		参考値

比較しTable 9 に示す。最大荷重実験値は、計算値の1.5～1.6倍とやや大きかった。

3.7 試験後の漏水試験

荷重試験後、連続スラブ上面の中間支持点付近でのひび割れ幅は4～5mmという大きなものであったが、このひび割れエリア（15cm×60cm）に土手を築き、試験体側面のひび割れをシールした。駐車場床の水溜りを意識して上面の水位10mm程度まで水張りをを行い、そのまま1日間以上放置し、漏水の有無を調べた(Photo 2 参照)。

漏水試験の結果、スラブ下面および側面いずれからも漏水の兆候はなく、エチレン酢酸ビニール系防水シート層は、重ね代部も含めて優れた防水性能を有することが確認された。

4. 長期たわみ実験

前述の単純支持と同一の形状試験体で長期たわみ試験を行った。試験体一覧をTable 10 に示す。使用コンクリート強度は、Table 5と同じである。荷重はスラブ中央部で設計用曲げモーメントMdの1.2倍、つまり6KN/m²となるような載荷物を作用する。作用方法は、前述の構造実験同様に3等分点の持続荷重載荷(P'=8.96KN)とする。

長期たわみ挙動をFig. 8 に示す。それぞれの試験体の荷重直後の初期たわみは以下の通り。

- No. S-3 (プレーン) 1.24mm (荷重直後のたわみ)
- No. S-4 (防水層有り) 1.04mm (同上)

Fig. 7 の結果から、荷重期間6ヶ月での長期たわみは、No. S-3 (プレーン) で5.4mm, No. S-4の場合、5.7mmと大差なかった。対数式による長期たわみ予測を行いFig. 7に併記するが、最終たわみ予測値は、最大で9mm程度であり、スパン比で1/300以下と小さかった。そのため、今後のたわみ進行を考慮しても実用上、たわみ面からの支障はないと判断される。

長期たわみ実験を終了した試験体(No. S-4)を用いて、防水シートとコンクリートの接着試験を行った (Photo 3参照)。試験方法はコアボーリング(φ49)を用いてシート深さ以上削孔し、建研式試験機で試験した。試験位置は、スパン中央の曲げ区間で行ったが、接着強度は平均で0.85N/mm²を示しており、長期的な接着強度低下は殆どないと判断された。なお、剥離面は押さえコンクリートとシート界面、あるいはシート下とペースト界面であった。

5. 界面のせん断強度に関する試験

5.1 試験概要

ここではEVAシートとコンクリート界面とのせん断強度を把握する。試験は、一面せん断試験とし、その方法と形状はFig. 9 に示す。コンクリート打込みは、3章の曲げ載荷試験と同じ日に実施(先打ち5/13, 後打ち5/24)しており、コンクリート強度はTable 5 と同じ (Fc=30N/m

Table 10 長期たわみ試験体一覧

List of Long-term Deflection Test Specimens

試験体 No.	支持	防水層の有無
No. S-3	単純支持	無 (プレーン)
No. S-4		有り

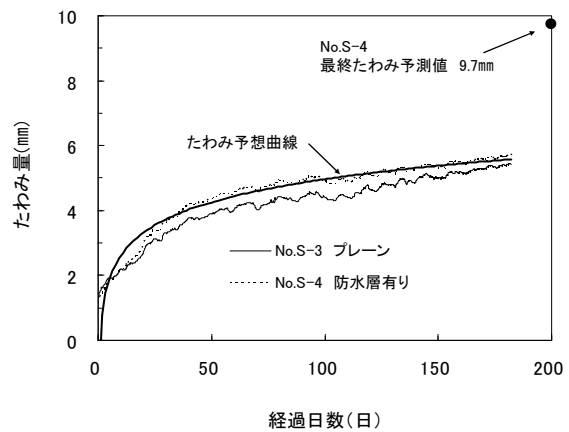


Fig. 8 長期たわみ挙動
Long-term Deflection



Photo 2 水張り試験
Water Leakage Test

Photo 3 接着試験
Adhesion Test

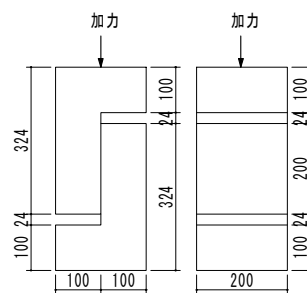


Fig. 9 せん断試験体
Shear Strength Test Specimen

Photo 4 せん断試験
Shear Strength Test

Table 11 せん断試験結果 (試験材齢 4週, 70週)
Results of Shear Strength Test

処理	材齢	No.	荷重 P (KN)	せん断応力 τ (N/mm ²)			
				平均			
コンクリート粗面	4週	A-1	62	1.55	1.43		
		A-2	52.5	1.31			
		EVAシート	70週	B-1	54.1	1.35	1.46
				B-2	62.6	1.57	
B-3	57.5	1.44		1.5			
B-4	62.1	1.55					

m²程度)である。試験要因は通常の打継ぎ面と比較する目的で以下の2種類とする。

加力試験は、後打ちコンクリート材齢4週程度とするが、No. Bの残り1組は、約70週(1年半)に試験を行った。

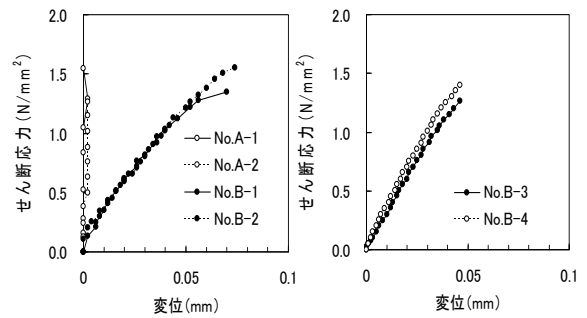
要因

- 1) No. A : コンクリート粗面(木鏝刷り) 計1組
 - 2) No. B : EVAシート接着 計2組
- EVAシート界面のせん断強度は、プレーンのコンクリート粗面と同程度の1.46N/mm²(平均)であった。

5.2 試験結果

ずれ変形を高感度変位計で測定(検長20cm)しており、その測定結果をFig. 10に示す。プレーン(No. A)の場合、殆ど変形せず急激に界面で脆性破壊を生じた。一方、シート接着(No. B)の場合、微小変形を生じつつ応力を維持している。これはこのシート面の起毛機構による効果ではないかと判断される。最大変位は0.07mm程度であった。

約70週まで自然暴露(室内に1年,屋外に4ヶ月)した後、せん断強度試験を実施し、経年劣化の状況を調べた。試験結果をTable 11, Fig. 10に示す。材齢4週の試験結果と比較すると、せん断強度としては、低下していないことが確認された。



試験材齢 4週 試験材齢 70週

Fig. 10 せん断応力とずれ変位関係

Relation of Shear Stress and Slip Deformation

Table 13 コンクリート強度結果
Results of Concrete Strength

名称 打込日	材齢	圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)
下部 コンクリート H18.10.4	36	25.5	26.9	2.41
	161	29.3	28.7	2.73
上部 コンクリート H18.10.12	24	23.6	24.0	—
	149	28.9	27.4	—



Photo 3 試験状況
Loading Situation

6. フォークリフト走行による検討

6.1 試験概要

防水層有りのデッキ床工法仕様では、設計積載荷重5.5 kN/m²で、山上9 cm以上、許容スパン長さ3.1 m以下を目安としている。

設計荷重(L.L=5.5 KN/m²)作用時の支持端部の曲げモーメントを以下のように設定する。

$$M = 1/10 \times (D.L + L.L) \times \text{隆}^2 \quad \dots\dots (5)$$

$$= 8.168 \text{KN} \cdot \text{m/m}$$

支持端の曲げ応力度は $\sigma = 8,168/4,430 = 1.84 \text{ N/cm}^2$

この曲げ応力は一般的な曲げひび割れ強度の0.6程度に相当するため、曲げひび割れが発生しない曲げ応力度と判断される。しかし、駐車場床の場合、事前に車輪荷重の走行に対して疲労劣化などの恐れがないことを確認する必要がある。ここでは、フォークリフトの走行試験からひび割れなどの支障ないことを確認する。

試験体形状 : 1.8 m×6.5 m 厚9 cm (山上)

調査 : 呼び強度18 N/mm², スランプ18 cm

この平板をスラブ幅1.8 m, スパン長さ3.1 mの連続スラブの支持状態として、その上でフォークリフト(自重3.5tf)の走行試験を実施した。コンクリート強度試験結果をTable 13に示す。

6.2 走行試験結果

最初、フォークリフト(自重2.0 tf)により、スパン長さ3.1 mにおいて200回の走行試験を行った。その結果、

Table 14 ひび割れ測定結果

Results of Crack Width Measurement

測定位置	ひび割れ幅 (mm)			
	無負荷	10往復	100往復	200往復
No. 1	0.15	0.15	0.15	0.15
No. 2	0.20	0.20	0.20	0.20

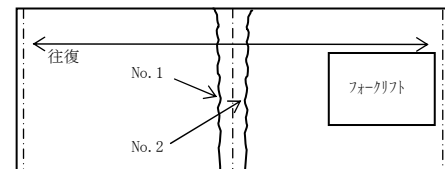


Fig. 11 床スラブのひび割れ状況

Crack Situation of Slab

ひび割れおよび浮きなどは全く無く、良好な表面状態であったため、次にフォークリフト(自重3.2 tf)により、スパン長さ3.4 mと長くして200回の走行試験を行った。その結果、ひび割れおよび浮きなどは全く無かったが、載荷時に1.3 mm程度のたわみを生じた。

最後にフォークリフトにウエイトを載せて、総自重4.2 tfとして、スパン長さ3.4 mの往復200回の走行試験を行った。試験状況をPhoto 3に示すが、ひび割れおよび浮きなどは全く無く、健全であることを確認した。なお、総自重4.2 tf 載荷時の最大たわみは1.8 mmであった。

6.3 追加検討実験

前述の走行試験でひび割れが発生しなかったため、中間の支点をジャッキで持ち上げて、強制的に中間支点位置に曲げひび割れを発生させた。ひび割れは中間支点の両側に 0.2~0.25mm幅のものがほぼ平行に 2本発生した (Fig. 11参照)。

この状態で、フォークリフト (3.2 tf) を往復 200回走行させて、ひび割れ幅の進展の有無を調べた。試験結果を Table 14 に示すが、この表から走行によるひび割れの進展やひび割れ近傍での浮きの発生も無く、疲労劣化は特に認められなかった。

そのため、仮に実構造スラブにおいて、収縮ひび割れが発生したとしても、その後の車両走行による疲労劣化の恐れは小さく、将来、収縮ひび割れを基点とした不具合問題に発展することは殆ど無いと判断された。

上述の一連の走行試験終了後、約8ヶ月間、試験体 (1.8m×6.5m) を屋外にてそのまま暴露状態で放置し、観察を行っているが、ひび割れ剥離や浮きの発生などの不具合は無い。

7. 耐火性能試験

7.1 試験目的

今回開発したシートインスラブは、防水層より下側のデッキ山上コンクリート厚さが従来の一般的なデッキスラブ工法よりも薄いため、建築基準法に規定された耐火性能に関する基準を満足することを確認する必要がある。そこで、火災時における構造安全性 (非損傷性) および延焼防止性能 (遮熱性・遮炎性) の確認を目的として、耐火性能試験を実施した。試験は、指定性能評価機関である (財) 日本建築総合試験所にて実施し、同試験の結果に基づき耐火構造 (床: 1 時間耐火) の国土交通大臣認定を取得した。以下に、耐火性能試験の結果概要を示す。

7.2 試験体

耐火試験に供した試験体は、Fig. 12 に示す幅 1,800 mm、長さ 3,550 mm のシートインスラブ (同一条件 2 体) である。コンクリートには、調合強度 21 N/mm² の普通コンクリートを使用した。コンクリートの強度試験結果を Table 15 に示す。デッキプレートには、デッキ高さ 75 mm、板厚 1.2 mm (SDP1T) の合成スラブ用デッキプレートを使用し、デッキプレートの下面には耐火被覆 (吹付けロックウール: 厚 30 mm) を施した。ボトムコンクリートの厚さは、デッキプレートの山上 35 mm (防水層の下端まで) とし、防水層より上部のトップコンクリート厚さは 50 mm、防水層を含む床版の総厚は 165 mm とした。なお、試験体の支持条件は、試験体の端部に支持梁を設けて 2 辺支持とした。

7.3 試験方法

耐火試験の方法は、指定性能評価機関が定める「防耐

火性能試験・評価業務方法書」に基づき、試験体に加熱と荷重を同時に与える載荷加熱試験 (加熱時間: 1 時間) とした。載荷の方法は、試験体を耐火試験炉にセットした後、炉の上部に設置された加力装置を用いて 3 等分 2 線荷重を載荷することで、実使用時に等分布荷重 (積載荷重 5,400 N/m²) によって生じる最大曲げモーメントを再現した。加熱の方法は、試験体に所定の荷重を載荷した後、炉内に設置されたガスバーナーを用いて、試験体の下面側より ISO834 に従った標準加熱を 1 時間与えるものとし、さらに加熱終了後も 3 時間 (加熱時間の 3 倍) 荷重を一定に保ち、試験体のたわみ量およびデッキプレート温度・防水シート温度 (加熱側) ・裏面温度 (非加熱側の表面温度) を 30 秒間隔で測定した。

7.4 試験結果

耐火性能試験の結果について、炉内温度および試験体各部の温度を Fig. 13~Fig. 16 に、スパン中央部および加力点におけるたわみ量の経時変化を Fig. 17 (下向き凸の変形を正とする) に示す。なお、試験は同一条件で 2 体実施したが、両者の結果はほぼ等しかったため、ここでは代表的な 1 体の結果のみを示す。

デッキプレートの温度は、加熱側へ凸形に突出したデッキ谷部の方が、デッキ山部の温度よりも高い傾向を示している。これに対して、防水シート温度および裏面温度は、コンクリート厚さが薄いデッキ山部直上の方が温度上昇が速い傾向を示しているが、最高到達温度は 50~60℃程度と比較的低温に留まっている。また、スパン中央部のたわみ量は、耐火被覆によりデッキプレートの温度上昇が十分に抑制されている効果により、最大で 13 mm 程度と許容値 (175 mm) を大きく下回っている。

以上の結果より、シートインスラブのスパン中央部におけるたわみ量ならびに裏面温度は、耐火構造の床に要求される制限値を十分な安全余裕度をもって満足しており、建築基準法に定める 1 時間耐火の性能を有することが確認された。

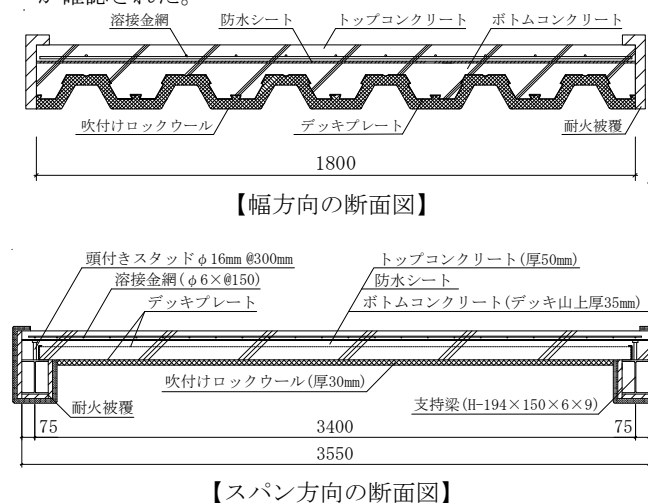


Fig. 12 シートインスラブ試験体の概要 (断面図)
Configuration of Slab Specimen (Cross Section)

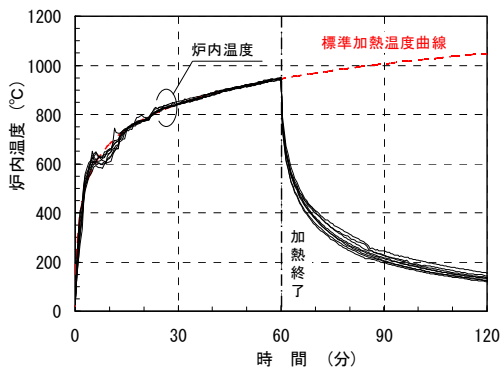


Fig. 13 炉内温度の測定結果
Heating Temperature

Table 15 コンクリートの強度試験結果
Results of Concrete Strength

	圧縮強度 (N/mm ²)	割裂強度 (N/mm ²)	1/3割線係数 (kN/mm ²)	材令 (日)	含水率 (mass%)
トップコンクリート	25.0	2.2	23.7	59	2.1
ボトムコンクリート	21.8	1.8	21.1	77	

8. まとめ

本工法は、屋上駐車場スラブに施す防水層の高耐久・高品質化および建設コストの縮減を図ることを目的として、伸び率に富み、かつコンクリートとの付着強度が大きいEVAシート防水層を床スラブの中間部に敷き込むことにより、所定の防水機能を確保しつつ構造体の合理化を可能とする防水床工法である。

ここでは、各種構性能実験および耐火実験より、本工法が、所定の防水機能を確保しつつ優れた構性能を有することを確認した。またこのEVAシートは上部コンクリートに保護されるため、紫外線劣化や車輪荷重による直接的な損傷を受けにくく、長期的な防水抵抗性を確保することが可能である。

この構性能の妥当性については本稿に示した各種構性能実験の結果に基づき、(財)日本建築総合試験所における「構性能の検証業務」によって認証された(2007年5月)。また耐火構能としての大臣認定を取得した(2007年8月)。

今後は、上記の特長を有する合理的な駐車場屋上スラブ工法として、積極的に採用・展開してゆく所存である。

参考文献

- 1) 鉄骨造建物の床省力化工法の開発実験報告書 その1 防水層を内蔵する平板スラブの曲げ載荷実験報告書；所内報告書，No. 04009-1，2005年6月
- 2) 同 その4 ファイバーコンクリート合成デッキスラブ床版の構性能確認実験報告書；No. 04009-4，2007年5月
- 3) 同 その5 シートインスラブ合成デッキ床版の構性能確認実験報告書；No. 04009-5，2007年5月

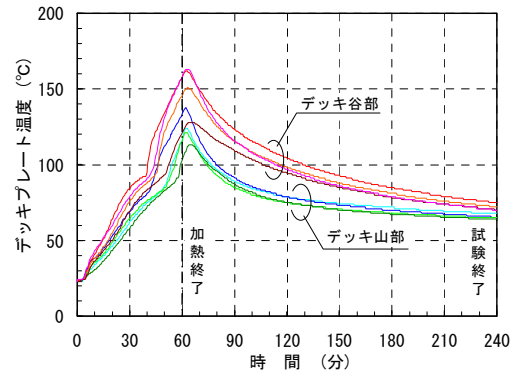


Fig. 14 デッキプレート温度の測定結果
Temperature of Deck Plate

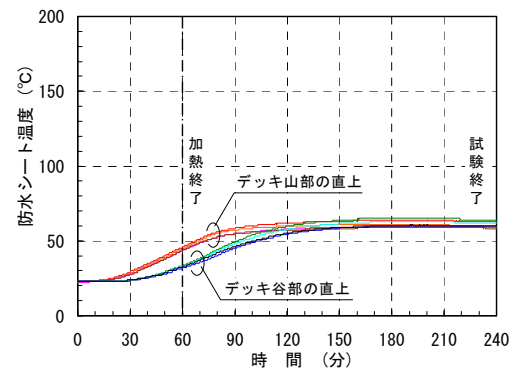


Fig. 15 防水シート温度の測定結果
Temperature of EVA Sheet

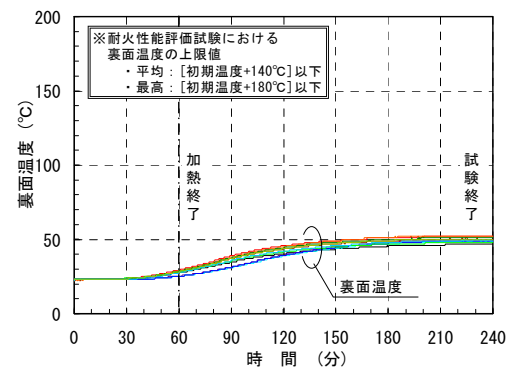


Fig. 16 裏面温度の測定結果
Temperature of Unexposed Surface

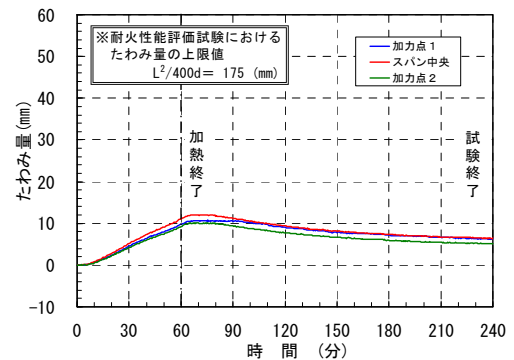


Fig. 17 たわみ測定結果
Vertical Displacement