

新型デッキの開発と技術的考察

Development of the New Generation Steel Deck and Consideration of its Technical Merit

原田 晶利 日本鋼管ライトスチール(株) 商品企画開発センター Masatoshi Harada

合成スラブ用 C デッキプレートに日本カイザー製の鉄筋トラスを専用スペーサーにより装着した新型デッキプレート CK デッキが現在の C デッキプレートの延長上に位置付けられることを説明した。CK デッキプレートの型枠機能時の性質、鉄筋トラスのせん断変形の制御、C デッキを使った合成スラブの剛性耐力を試験結果を基に論じ、型枠機能時の設計と、C デッキ合成スラブの断面性能について述べた。鉄筋トラスを合成スラブ用デッキプレートと組み合わせた CK デッキは、次世代合成スラブ用デッキプレートと言えることが、本稿の結論である。

CK deck plate, comprising existed steel deck plate with re-bar truss, has the extending capacity in the present deck plate market. Three functions required to the steel deck, worker's floor, form work, composite action are satisfied with good balance by the developed CK deck plate. The properties of CK deck plate and the composite floor slab using CK deck are specifically described in this paper. Conclusion of this paper is that this product can be the next generation for the steel deck plate.

1. はじめに

スパンが大きくなる程 床スラブは厚くなる。大略スパン 3m に対して 16cm、スパン 5m に対して 22.5cm である。高さ 5cm、7.5cm のデッキプレートは最も需要の多い事務所建築を対象に作られたので、スパン 2.5~3m スラブ厚さ 13~18cm の床スラブ用として多用されている。

一般にデッキプレートを使用した床の剛性、耐力は大きく、曲げ初き裂後の剛性低下も少ないことが知られている。特に合成スラブ用デッキプレートを用いた場合、この特色は顕著である¹⁾。デッキプレートを使用した床スラブのこの特色を保ちスパンがより大きい床スラブにも自在に対応できる新しいデッキプレートとして、合成スラブ用デッキプレート C デッキに鉄筋トラスを装着することを考えた。本稿はこの新しいデッキプレートシステム、CK デッキに関して技術的考察を行ったものである。

2. CK デッキ

合成スラブ用デッキプレート C デッキおよび、日本カイザーが日本で供給している三角断面の鉄筋トラスは品質が安定した工業製品である。鉄筋トラスの高さは 6cm から 30cm まで、1cm ピッチで生産されており床スラブの厚さに対応できるようになっている。

スパンが大きくなるに連れ、合成を確保するために床スラブの厚さも増し自重が大きくなるので、デッキプレートもより高いものが必要になる。現在生産している C デッキプレートに鉄筋トラスを組み合わせることで、デッキプレ

ートの高さを増すことなく剛性を大きくすることができるので、スパンがより大きい(3m~5m)床スラブに利用できるデッキプレートシステムが実現できる。

デッキプレートシステムは次の 3 つの機能を持つ。

- (1) デッキプレート敷き込み後の作業床(作業床機能)
- (2) コンクリートの型枠(型枠機能)
- (3) コンクリート硬化後の床スラブに生ずる引張り応力を負担するいわゆる強度部材(床スラブ機能)

(3) は合成スラブ用デッキプレートを用いた場合である。この 3 つの機能をバランス良く満たしていることが優れたデッキプレート床と言える。表 1 に C デッキおよび C デッキにカイザートラスを装着したときの型枠機能と、完成した床スラブに対する許容スパンを示した。C デッキプレートのみでも十分な引張り応力を負担する部材であることを示すために表 1 の床スラブ機能時の許容スパンの値は、カイザートラスを除いて計算してある。作業時の荷重を 150kgf/m² として計算した作業床機能に対するスパンはこれを上回る^{2),3)}。表 1 からカイザートラスを装着することで型枠としての機能と床スラブとしての機能に対する許容スパンがほぼ等しくなることがわかる。

図 1 は CK デッキの施行順を示したものである。C デッキを敷き込み、梁に焼き抜き栓溶接、ヒルティ鋸により固定し(合成梁とする場合は頭付きスタッドを溶接する)開口や、柱廻りの処理を行った後、鉄筋トラスを装着する。鉄筋トラスは溶接金網や、梁上、開口、柱廻りの局所配筋の良いスペーサーになる。すべての配筋が終わったら、コンクリートを打設する。施工計画で、デッキプレートをユニ

表 1 鉄筋トラス筋装着の効果；型枠機能時スパン 床スラブ機能時スパン

デッキプレート	S (mm)	カイザートラス @300mm 高さ - 上端筋 - 下端筋 (mm)	型枠機能時，許容最大スパン(m)		C デッキ合成スラブ 床スラブ機能時 許容最大スパン	
					W _L =360kgf/m ²	W _L =550kgf/m ²
C50 t=1.2	90	-	2.42	3.21	4.11	3.54
		6 - 13 - 2 9	<u>3.32</u>	<u>4.45</u>		
	120	-	2.30	2.97	4.6	4.17
		9 - 13 - 2 9	<u>3.67</u>	<u>4.82</u>		
C50 t=1.6	90	-	2.62	3.52	4.44	3.59
		6 - 13 - 2 9	<u>3.48</u>	<u>4.67</u>		
	120	-	2.49	3.34	5.29	4.03
		9 - 13 - 2 9	<u>3.78</u>	<u>5.03</u>		
C75 t=1.2	90	-	3.15	3.89	4.04	3.65
		8 - 13 - 2 9	<u>4.18</u>	<u>5.95</u>		
	120	-	3.01	3.62	4.78	4.35
		11 - 13 - 2 9	<u>4.38</u>	<u>5.62</u>		
C75 t=1.6	90	-	3.43	4.43	4.90	4.18
		8 - 13 - 2 9	<u>4.41</u>	<u>5.91</u>		
	120	-	3.28	4.13	5.38	4.89
		11 - 13 - 2 9	<u>4.55</u>	<u>5.95</u>		

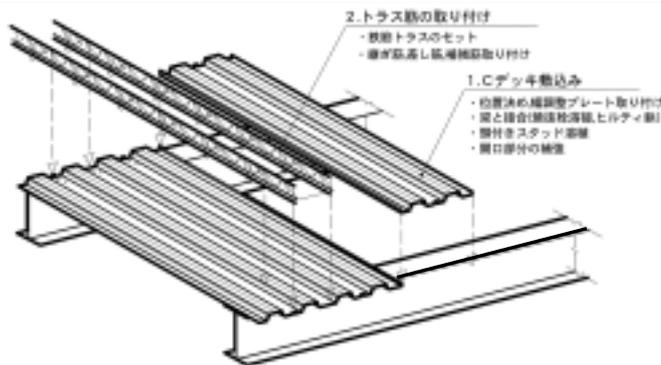


図 1 CKデッキの施行順

ット化する場合には鉄筋トラスを先に取り付けることもできる。鉄筋トラス 1 本は 1m 当たり 2~3kg なので、デッキプレートが、たとえば、2 スパンで 8m，残り 1 スパン 4m で敷き込まれた場合，3 スパン分 1 本の鉄筋トラスを装着することができる。

カイザートラスは，C デッキのウェブの剥離防止溝に，はめ込む専用のスペーサーによって装着する。図 2 にこの専用スペーサーを示す。Z 型のスペーサーはカイザートラスの上端筋（トラップ筋）に回転子を介して取り付けられている。スペーサーはカイザートラスに 60cm ピッチで取り付けられている。

装着はこのスペーサーを取り付け具ではめ込みながら行う。カイザートラスにこの専用スペーサーが付いたものは専用スペーサー付きカイザートラスとして市場品になっている。

カイザートラスの下端筋は，C デッキの溝下面から 4cm の位置になるように，専用スペーサー付きカイザートラス

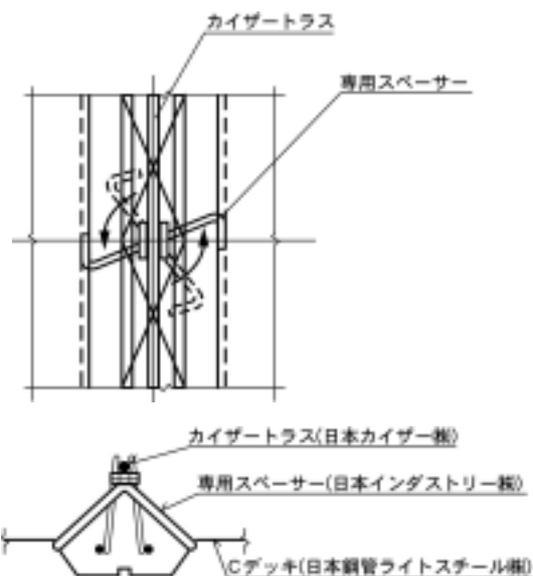


図 2 専用スペーサー付き鉄筋トラスを装着したデッキプレート

の寸法が決められている。火災を受けたとき，合成スラブと同様デッキプレートは熱座屈し，コンクリート部分から剥離してしまう。荷重は，カイザートラスのトップ筋，下端筋，溶接金網の引張りとコンクリートの圧縮による抵抗曲げモーメントにより支持される。カイザートラスの下端筋は耐火補強筋の働きをする。

デッキプレートの山から上のスラブ厚さが 20~30cm になると，鉄筋コンクリートの梁と同様，せん断補強が必要になる。カイザートラスのラチス筋により，CK デッキを利用した床スラブはせん断補強されている。

まだ固まらないコンクリートの重量は、デッキプレートに作用するので、Cデッキのウェブの溝にはめ込まれたスペーサーは剥離応力に抵抗しなければならない。高さ8cmのカイザートラスまでは、専用スペーサーをはめ込むだけで良いが9cm以上15cmのカイザートラスを使用した場合は、スペーサーの脚部とCデッキを長さ1cm程溶接する。この溶接は簡単である。

3. CKデッキを使った床スラブ

CKデッキを使った床スラブは、Cデッキ合成スラブと同様の性状を持つ。一例として高さ5cmのデッキプレートに高さ10cmのカイザートラスを装着したCKデッキにデッキプレートの山上20cm、および1.5cmコンクリートを打設した床スラブの載荷試験の結果を図3に示す。

合成スラブと同様、コンクリートの引張り応力度から計算される初期曲げき裂荷重に達しても目立った剛性低下はない。剛性低下がはっきりするのは、初き裂荷重の1.5~2倍の荷重あたりからである。

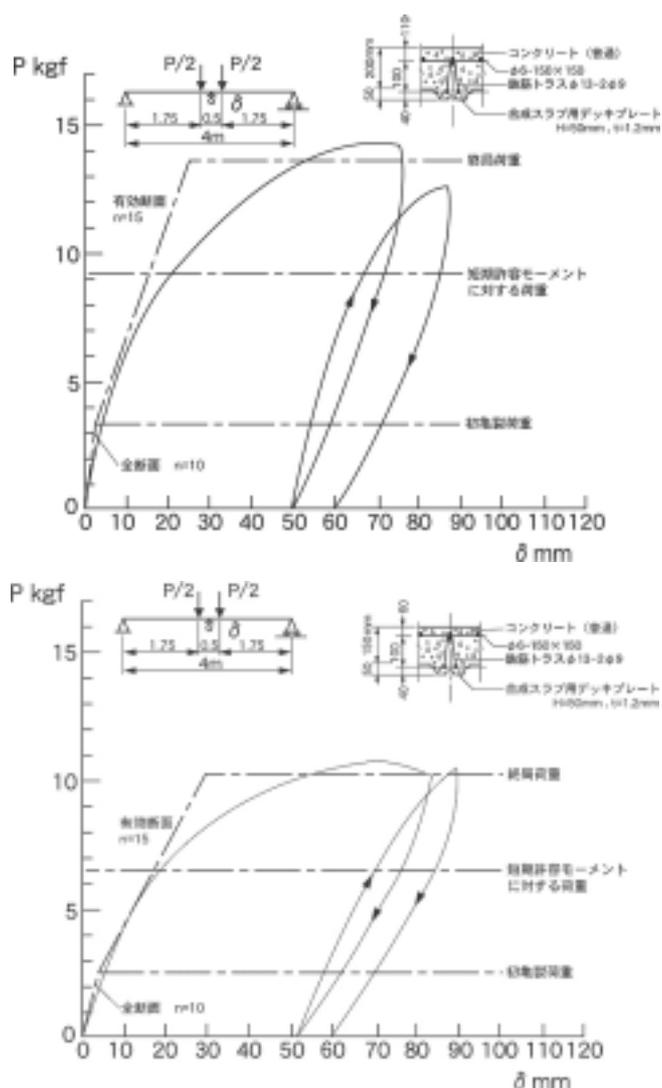


図3 Cデッキ+鉄筋トラス載荷試験結果

ヘアクラックは、初き裂近傍で見られる。図の短期許容曲げモーメントに対する荷重とは、デッキプレート下フランジの引張り応力度が2100 kgf/cm²となる荷重である。この荷重に達すると剛性低下は顕著になる。初き裂荷重、許容曲げモーメントに対する荷重、剛性ともCKデッキスラブの断面性能を使って計算した値である。

断面性能はCデッキ、カイザートラス、溶接金網が、コンクリートと一体として働くとして計算した。終局荷重はデッキプレートの降伏応力度を2100kgf/cm² (JIS G3352 SDPIT) 鉄筋の降伏応力度を3000kgf/cm²として計算した値である。図3の供試体はデッキプレート1枚半にカイザートラスを2本装着したものである。

Cデッキ合成スラブと若干異なるが、荷重とたわみの関係は終局に到るまで滑らかなことである。曲げき裂間隔は15cm程度であった。これよりCKデッキ合成スラブは、デッキプレート、カイザートラス、コンクリートが一体として働くと考えて良いだろう。

カイザートラスが入っているので、デッキプレートの山から上のスラブ厚さが15, 20cmあるにもかかわらず曲げき裂が入ったあとも、コンクリート部分の変形は滑らかで、デッキプレートによく馴染むため良い合成作用が出ていると言える。これはまたカイザートラスの一つの効用である。実はデッキプレートの溝部に配筋し、コンクリートに曲げき裂が入った後き裂が開くのを抑え、コンクリートのたわみ形を滑らかなようにすること、すなわち、デッキプレートとコンクリート部分との接合部(Cデッキプレートの場合は上フランジの鍵溝とウェブ上部の溝)がコンクリート部分と剥離しない様にするには良い合成スラブを得る手段である¹⁾。

もう少し力学的に考察する。合成作用に必要な対軸力Tは式(1)で表せる。

$$T = \frac{\bar{A} I_G}{\sum I + \bar{A} I_G^2} M_{ex} \quad \dots\dots(1)$$

ここで、

$$\sum I = I_d + I_c, \quad \bar{A} = \frac{A_d \cdot A_c}{A_d + A_c}$$

- I_d, A_d : デッキプレートの断面二次モーメント
- I_c, A_c : コンクリート部分の断面二次モーメント, 断面積
- I_G : コンクリート部分とデッキプレートの図心間距離
- M_{ex} : 荷重による曲げモーメント

コンクリート部分に配筋することで、 A_c, I_c が大きくな

り、 I_G は小さくなる。したがって、合成作用に必要な対軸力は小さくなるので、結合部分が負担する応力は減ることになる。

4. CK デッキの剛性，耐力

一般に鉄筋トラスは曲げとともにせん断変形するので、たわみは大きくなる。カイザートラスと同じような三角断面を持つ鉄筋トラスのラチス筋を少し伸ばし薄鋼板（0.5mm）を溶接した鉄筋デッキのたわみの計算はこのせん断変形を考慮しないと実験値と合わない。

CK デッキでは、カイザートラスのトップ筋と C デッキを専用スペーサーで結合し、しかも専用スペーサーは C デッキとずれることはないので、構造モデルとして、曲げ梁（デッキプレート）と曲げせん断梁（カイザートラス）の不完全合成梁になっていると見なせる。専用スペーサーのサイズ（径 9mm の丸鋼）と間隔（60cm）により決まる合成度合いは丁度カイザートラスのせん断変形を打ち消す程度になっている。

載荷試験の結果から CK デッキのたわみに対する剛性は C デッキとカイザートラスの曲げ剛性の和、耐力は荷重による曲げモーメントを、曲げ剛性比に応じて C デッキとカイザートラスに分配した各々の曲げモーメントに対する耐力の小さい方の値による^{2),3)}。

図 4 に CK デッキの載荷試験の結果と、ここに述べた方法で計算した、たわみと許容荷重の結果を示す。デッキプレートの各山部分に載荷しているので、スペーサー嵌合部には剥離応力が作用する。剛性、耐力とも上述の方法による計算値と良く合っている。

高さ 8cm のカイザートラスを装着した場合、C デッキのみの場合に比べ剛性は 1.5 倍、高さ 15cm のカイザートラスを装着した場合、剛性は 2 倍になる。

これより、CK デッキの型枠機能時の剛性、および許容曲げモーメントは式(2)、式(3)で計算できることがわかる。

$$EI = E(I_d + I_k) \quad \dots\dots(2)$$

$$M_{許} = \min \left\{ \frac{\sigma_{許d} \cdot Z_d}{I_d}, \frac{\sigma_{許k} \cdot Z_k}{I_k} \right\} \cdot \sum I \quad \dots\dots(3)$$

ここで、

EI : CK デッキの曲げ剛性

$M_{許}$: CK デッキの許容曲げモーメント

I_d, Z_d : デッキプレートの断面二次モーメント，断面係数

I_k, Z_k : カイザートラスの断面二次モーメント，断面係数 $I = I_d + I_k$

許 d : デッキプレートの許容曲げ応力
許 k : カイザートラスの許容曲げ応力

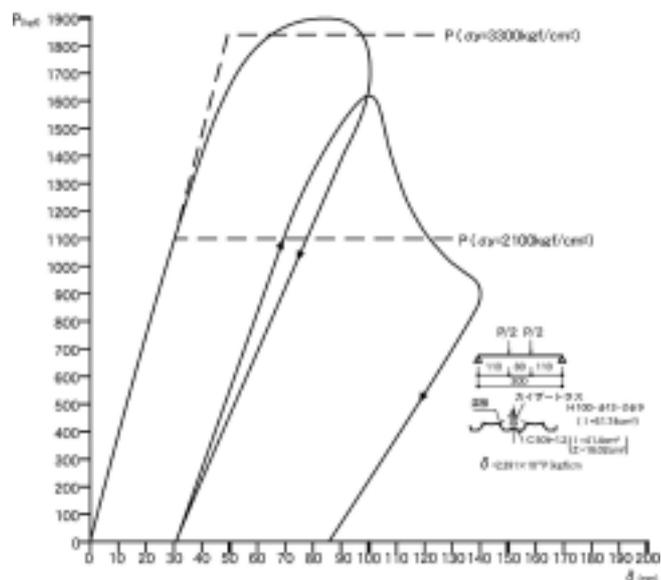
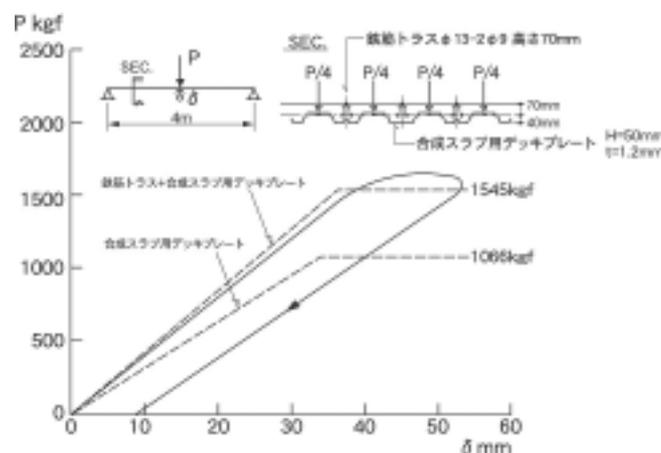
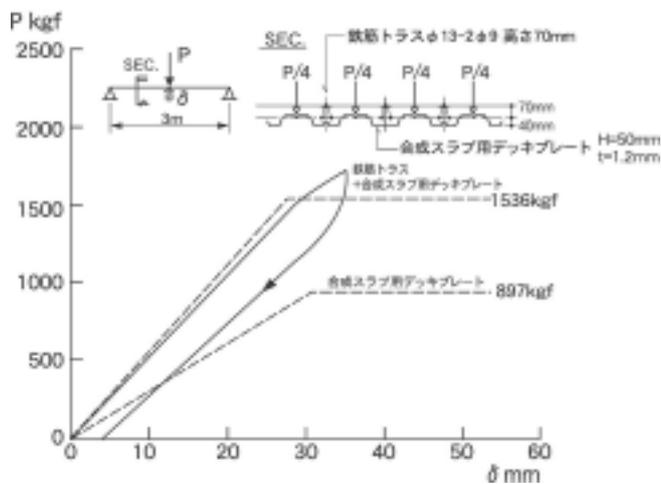


図 4 型枠機能時試験結果

5. CKデッキ合成スラブと一般的な床スラブとの相違

図5は同じスラブ厚さの供試体を2線載荷した荷重、たわみの測定結果である。CKデッキ合成スラブを平板状スラブと比較する目的で行ったものでなく、おのこの別の目的で行ったので、スパンはCKデッキ合成スラブが4.5m、平板状スラブが4mである。両方とも鉄筋トラスを使用している。平板状スラブは厚さ0.5mmの鋼板に鉄筋トラスが溶接された鉄筋デッキスラブである。

平板状スラブは、曲げ初め裂後の剛性低下が大きい。これは、鉄筋デッキを利用したものでない一般的なコンクリートスラブについても言えることである。それに比べCKデッキスラブは初期曲げき裂モーメントに達した後も剛性を保っている。最大曲げモーメントは、CKデッキ合成スラブの方が大きい。デッキプレートの溝の分だけ床スラブの重さは軽くなる。

床スラブにまず要求されるのは剛性である。したがって、鉄筋トラスのみ(薄鋼板は施工時のコンクリート止めのためであるが)で型枠機能時の荷重を支持することにより、鉄筋トラスの使用を少し減らし、合成スラブ用デッキプレートを使う方が、剛性が大きい床スラブができる。

鉄筋に比べ、薄鋼板は高価だが、それなりに品質が良い床スラブを作るには合成スラブ用デッキプレートを用いるべきだと言っても良さそうである。

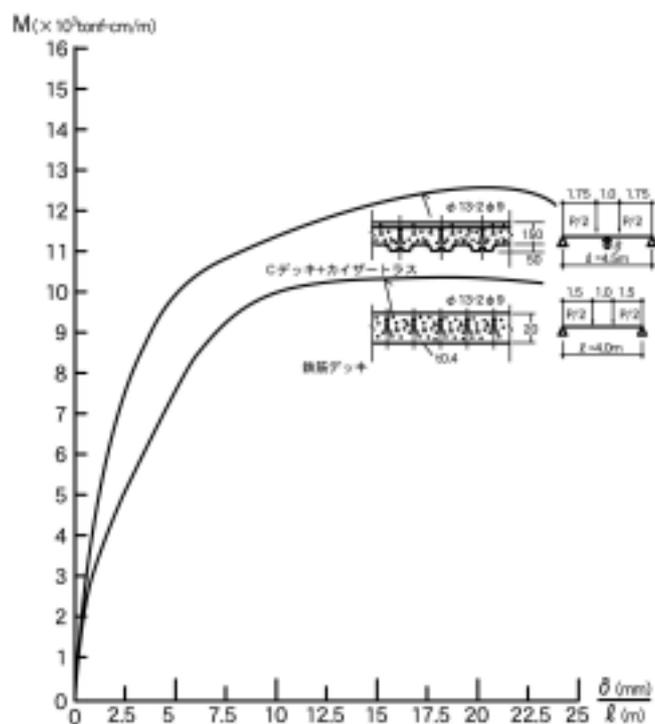


図5 CKスラブと鉄筋デッキスラブの載荷試験結果の比較

Cデッキに付属する開口補強材や、隅部補剛材、天井吊り材をつけるためのハンガー、小口ふさぎなどはそのまま利用できる。専用スペーサー付きカイザートラスは、開口両側の補剛材としても有用である。

CKデッキは汎用製品のCデッキの延長に位置付けられる。合成スラブ用デッキプレートで、鉄筋デッキスラブとは一線を画する。

6. おわりに

合成スラブ用デッキプレートCデッキの延長上に位置付けられるCKデッキスラブの開発および、その型枠機能時と床スラブ機能時の性状について述べた。デッキプレートに溝をつけたり突起をつけたりして得る合成作用の程度には、限度がある。市販のカイザートラスに専用スペーサーをつけた日本カイザー製の鉄筋トラスを利用することで容易に現在のCデッキの適用を超えた領域にも利用できる合成スラブになる。床スラブの厚さを増すことなく、型枠機能時のスパンを床スラブ機能時のスパンに近づけることができるCKデッキプレートは次世代の合成スラブと言えるだろう。

参考文献

- 1) 原田晶利. 合成スラブ用デッキプレートの剥離防止機構の必要性について. 構造工学論文集. Vol.41B(1995年3月), 日本建築学会.
- 2) 原田晶利. デッキプレートと鉄筋トラスによる次世代合成スラブ用型枠. 鋼構造年次シンポジウム 1997年, 日本鋼構造協会.
- 3) Masatoshi Harada. Small Art Extends the Range of the Steel Deck Market, No.118, Second World Conference on Construction Steel Design, May 11-13, 1998, SAN SEBASTIAN, SCI.

< 問い合わせ先 >

日本鋼管ライトスチール(株) 商品企画開発センター
Tel. 03 (5644) 1212 原田 晶利
E-mail address : Masatoshi_Harada@nkkls.co.jp