

デッキプレートに設置したインサートの引抜耐力及びせん断耐力の実験的研究

武佐 サライデン 中川 学 有馬 冬樹^{*1}
Salahidin Musa, Manabu Nakagawa, Fuyuki Arima

概 要

一般に、鉄骨造に採用されるデッキ合成スラブには、設備機器や天井を吊るための吊りボルト用のインサートが設置される。山部と谷部を有するデッキプレートを使用した場合において、谷部へのインサートの設置を禁止しているメーカーが存在する。インサートを谷部に設置した場合の引抜耐力が、等厚なデッキに設置した場合に比べて低下することが既往の研究等で確認されており、その評価方法が提案されている。一方、特定天井を含む耐震天井の場合、吊りボルトにブレース材を接合させるケースが多く、ブレースに係るインサート部分にはせん断力も作用するが、インサートを谷部に設置した場合のせん断耐力の低下については明確になっていない。本報では、インサートをデッキ合成スラブの谷部と山部に設置した場合のインサートの引抜耐力及びせん断耐力について報告する。既往の研究で明確になっていないインサートをデッキ谷部に設置した場合のせん断耐力の低下については、山部に設置した場合に比べ、顕著な耐力低下は生じなかった。

Experimental Study on Pull-out and Shear Strength of Ceiling Inserts Embedded in Composite Steel Deck Slab

Abstract

Generally, deck composite slabs used in steel structures are equipped with inserts for bolts for hanging equipment and ceilings. When using a deck plate with peaks and troughs, some manufacturers prohibit the installation of inserts in the troughs. Previous research has confirmed that the pull-out strength when inserts are installed in the trough is lower than when they are installed on decks of equal thickness, and a method for evaluating has been proposed. On the other hand, in the case of earthquake-resistant ceilings, including specific suspended ceilings, it is common to connect brace materials to the suspension bolts. While the inserts related to the braces are also subject to shearing forces, the reduction in shear strength when the inserts are installed in the trough section is unclear. This paper reports on inserts' pull-out strength and shear strength when installed in the troughs and peaks of deck composite slabs. Regarding the decrease in shear strength when inserts are installed in the deck troughs, which has not been clarified in previous research, compared to when they are installed in the peaks of the deck, no fearful decrease in strength occurred.

キーワード：デッキプレート，インサート，引抜耐力，せん断耐力，耐震天井，合成スラブ

^{*1} 大和ハウス工業株式会社 品質保証統括部

1. はじめに

一般に、鉄骨造に採用されるデッキ合成スラブには、設備機器や天井を吊るための吊りボルト用のインサートが設置される。図 1 に示すような、山部と谷部を有するデッキプレートを使用した場合において、谷部へのインサートの設置を禁止しているメーカーが存在する。

土屋¹⁾は、インサートを谷部に設置した場合の引抜耐力が、等厚なデッキに設置した場合に比べて低下することを実験的に確認している。さらに谷部に設置した場合、各種合成構造設計指針²⁾に示される引張力を受ける頭付きアンカーボルトの許容引張力（へりあきによる面積の欠損部を考慮）、あるいは空気調和・衛生工学会 SHSE-S009-2004³⁾に示されている引抜耐力に低減係数 0.8 を乗じた値の妥当性について報告している。一方、特定天井を含む耐震天井の場合、吊りボルトにブレース材を接合させるケースが多く、ブレースに係るインサート部分にはせん断力も作用する。

本報では、インサートをデッキ合成スラブの谷部と山部に設置した場合のインサートの引抜耐力及びせん断耐力について報告する。

2. 引張試験

2.1 試験体

表 1 に試験体一覧を示す。ねじの呼び径 W3/8、インサートのヘッド径 22mm は全試験体共通とし、実験変数は、インサートメーカー、有効埋め込み長さ、インサートの設置位置とした。試験体数の総数は 15 体とした（試験体の種類ごとに 3 体製作）。デッキ仕様については、デッキプレート厚 1.0mm、山高 75mm、山上コンクリート 80mm とした。

図 2 に試験体形状寸法及びインサート設置位置（天地逆に図示）を示す。試験体は、合成スラブをデッキ谷部又は山部を中心として 400mm×620mm（インサートを山部に設置した No.4, No.5 では 600mm）の寸法に切り取った形状とした。谷部に設置するインサートは、設置可能な範囲でへりあきが最小になるようにデッキプレート山部の端部から 15mm とした。山部に設置するインサートはデッキプレートの山部中央部の突起を避け、その突起とデッキプレート山部の端部との中央部に設置した。



図 1 デッキ合成スラブに設置するインサート

表 1 引張試験体一覧

No.	試験体名称	インサートメーカー	ねじの呼び径	ヘッド径 [mm]	埋め込み長さ [mm]	有効埋め込み長さ [mm]	インサート設置位置	
							谷部/山部	へりあき寸法 [mm]
1	T-Ta-48	A社	W3/8	22	50.5	48.0	谷部	15
2	T-Ta-42.5	B社	W3/8	22	45.0	42.5	谷部	15
3	T-Ta-41	A社	W3/8	22	43.5	41.0	谷部	15
4	T-Ya-48	A社	W3/8	22	45.0	48.0	山部	—
5	T-Ya-42.5	B社	W3/8	22	50.5	42.5	山部	—

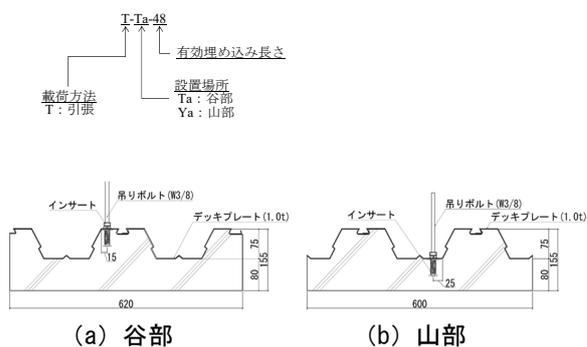


図 2 試験体図（引張試験体）

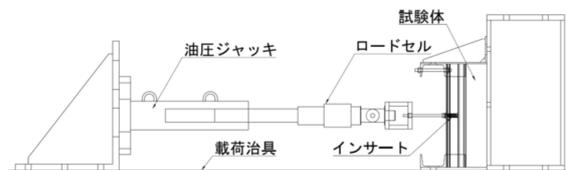


図 3 载荷方法（引張試験）

2.2 载荷方法

図 3 に载荷方法を示す。試験体は、加力フレーム上に吊りボルトが水平となるように設置し、インサートに引張力を与えた。

2.3 試験結果

表 2 に実験結果と計算結果一覧を示す。表 2 の各引抜耐力の実験結果においては、既往の研究¹⁾と同様に平均値と 95%信頼区間の下限値を示している。以下の引抜耐力の評価には、こちらの 95%信頼区間の下限値を実験値として用いる。写真 1 に破壊性状をそれぞれ示す。破壊性状はインサートの設置位置にかかわらず、谷部ではインサート近傍のコーン状破壊と共に、へりあき側にコンクリートの破壊が観察され、山部ではデッキプレートの全幅にわたる剥離をとともう、コンクリートのコーン状破壊が観察された。

表 2 実験結果・計算結果一覧(引張試験)

No.	試験体名称	インサート			コンクリート圧縮強度 [N/mm ²]	実験結果 破壊形式	引抜耐力		計算値	
		有効埋め込み長さ [mm]	位置				平均値 [kN]	95%信頼区間の下限値 [kN]	P ₁ [kN]	P ₂ [kN]
			谷部/山部	へりあき寸法 [mm]						
1	T-Ta-48	48.0	谷部	15	25.7	インサート付近コーン状破壊、へりあき側破壊	16.93	14.83	11.62	12.28
2	T-Ta-42.5	42.5	谷部	15	25.7	インサート付近コーン状破壊、へりあき側破壊	16.24	14.64	10.46	9.98
3	T-Ta-41	41.0	谷部	15	26.9	インサート付近コーン状破壊、へりあき側破壊	16.03	15.46	10.31	9.62
4	T-Ya-48	48.0	山部	—	27.9	山部の幅に近い幅でのコーン状破壊	25.50	21.78	22.96	17.28
5	T-Ya-42.5	42.5	山部	—	26.9	山部の幅に近い幅でのコーン状破壊	24.27	21.16	18.49	13.85

図 4 に全試験体の荷重変位関係を示す。また、図 5 に谷部と山部の引抜耐力 (95%信頼区間の下限値) の比較を示す。図 5 では、T-Ta(Ya)-48 と T-Ta(Ya)-42.5 について比較した。いずれも谷部の引抜耐力は、山部の引抜耐力の約 0.7 倍に留まっており、引抜耐力が低下している。一方、本実験の範囲内では、インサートの有効埋め込み長さでの引抜耐力の顕著な差は生じなかった。

既往の計算式を式(1)、式(2)に示す。P₁は、SHASE-S009³⁾に示されるコンクリートに破断が生ずる場合の引抜耐力、P₂は各種合成構造設計指針²⁾に示される頭付きアンカーボルトの設計にて示されている有効水平投影面積とコンクリートの引張強度に基づき算出した引抜耐力である。

$$P_1 = K \cdot \sigma_p \cdot S \quad (1)$$

$$P_2 = \sigma_t \cdot A_c \quad (2)$$

ここで、

P₁ : SHASE-S 009 に基づく引抜耐力 (N)

P₂ : 各種合成構造設計指針に基づく引抜耐力 (N)

K : 破断に至る係数 (=2.0)

σ_p : コンクリートの長期せん断応力度 (N/mm²)

$$F_c/30 \text{ 又は } 0.5+F_c/100$$

S : パンチングシアアの時の面積 (mm²)

σ_t : コンクリートの引張強度 (N/mm²)

$$\sigma_t = 0.31\sqrt{F_c}$$

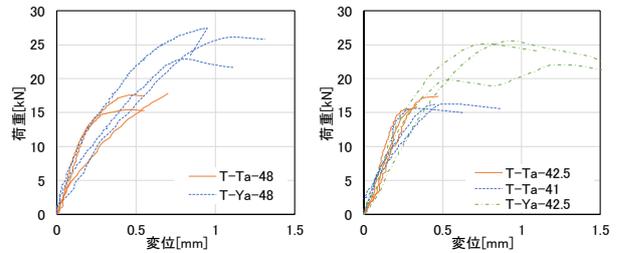
F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

A_c : コーン状破壊面の有効水平投影面積 (mm²)

図 6 に実験値と計算値の比較を示す。P₁については山部のひとつ (T-Ya-48) で、実験値が計算値を下回ったものの、それ以外の試験体では、山部、谷部にかかわらず、実験値が計算値を上回っていた。T-Ya-48 の実験値が計算値を下回った原因としては、試験体間で引抜耐力に比較的大きなばらつきが生じたことで、95%信頼区間の下限値が低くな



(a) T-Ta-42.5 (b) T-Ya-42.5
写真 1 破壊性状 (引張試験)



(a) 有効埋め込み長さ 48mm (b) 有効埋め込み長さ 42.5/41mm
図 4 荷重変位関係 (引張試験)

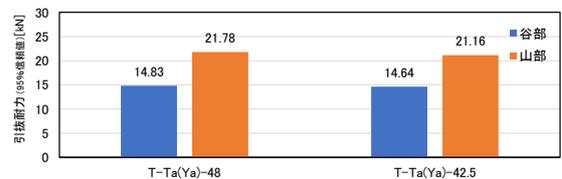
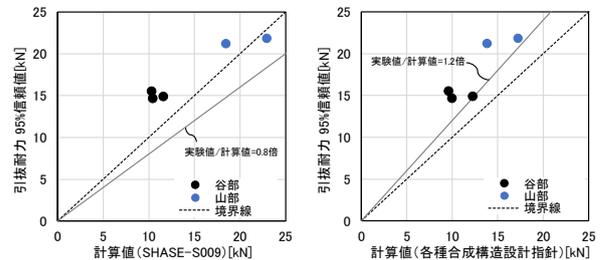


図 5 谷部と山部の引抜耐力の比較 (95%信頼区間の下限値)



(a) P₁との比較 (b) P₂との比較
図 6 実験値と計算値の比較 (引張試験)

ったことが考えられる。なお、同図 (a) に示すように、すべての試験体は、P₁ に 0.8 倍を乗じて評価することは安全側となった。同図 (b) より、谷部、山

部含め、実験値は計算値の P_2 の 1.2 倍以上となり、デッキプレートによる欠損部分を考慮した有効投影断面積による評価¹⁾が可能であることが分かった。

3. せん断試験

3.1 試験体

表 3 に試験体一覧を示す。試験体は、ねじの呼び径 W3/8、インサートのヘッド径 22mm を共通とし、実験変数をインサートメーカー、埋め込み長さ、インサートの設置位置、荷重方向（後述）とした。試験体の総数は 23 体である（試験体の種類ごとに 3 体製作したが、No.4 のみ 2 体である）

図 7 に試験体（天地逆に図示）の形状寸法を示す。試験体は、合成スラブを、デッキ谷部又は山部を中心として 400mm×620mm（インサートを山部に設置した No.7, No.8 では 600mm）の寸法に切り取った形状としている。デッキプレートの仕様及び山上寸法は引張試験と同様である。

インサート設置位置が谷部においてへりあきが 27mm（谷部の中央近傍を想定した寸法）の試験体（No.4）がある以外は引張試験と同様である。

3.2 荷重方法

試験体は、図 8 に示すように、床スラブを水平に設置して、インサートに対するせん断力に相当する水平方向荷重を与えた。また、図 9 に荷重方向を示す。荷重方向は、デッキプレートの幅方向に荷重するへりあき方向、へりあき反対方向、デッキプレートの流れ方向に荷重する流れ方向の 3 種類とした。

3.3 試験結果

表 4 に実験結果と計算結果一覧、図 10 に荷重変位関係を示す。実験で得られたせん断耐力については、平均値と 95%信頼区間の下限値を示してい

表 3 せん断試験体一覧

No.	試験体名称	インサートメーカー	有効埋め込み長さ [mm]	インサート設置位置		荷重方向
				谷部/山部	へりあき寸法 [mm]	
1	Q-Ta-48-15-E	A社	48.0	谷部	15	へりあき方向
2	Q-Ta-48-15-EO	A社	48.0	谷部	15	へりあき反対方向
3	Q-Ta-48-15-L	A社	48.0	谷部	15	流れ方向
4	Q-Ta-48-27-EO	A社	48.0	谷部	27	へりあき反対方向
5	Q-Ta-42.5-15-E	B社	42.5	谷部	15	へりあき方向
6	Q-Ta-41-15-E	A社	41.0	谷部	15	へりあき方向
7	Q-Ya-42.5-L	B社	42.5	山部	—	流れ方向
8	Q-Ya-48-L	A社	48.0	山部	—	流れ方向

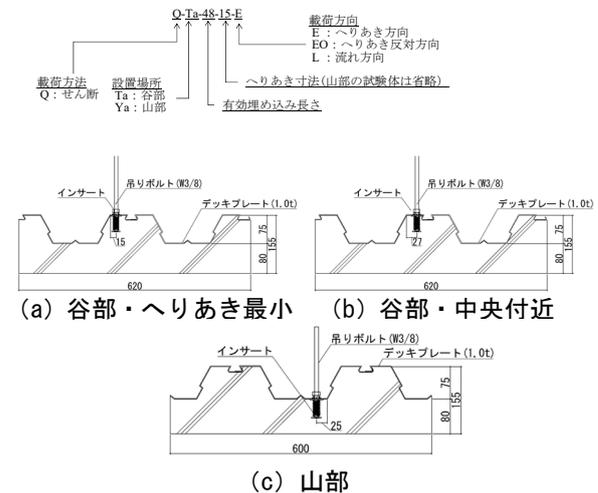


図 7 試験体図（せん断試験体）

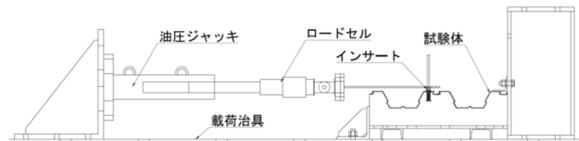


図 8 荷重方法（せん断試験）

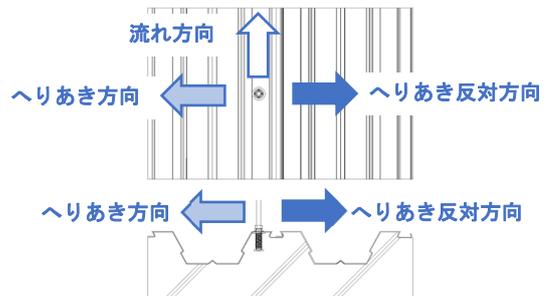


図 9 荷重方向（せん断試験）

表 4 実験結果・計算結果一覧（せん断試験）

No.	試験体名称	インサート		荷重方向	コンクリート圧縮強度 [N/mm ²]	実験結果		計算値				
		有効埋め込み長さ [mm]	位置			せん断耐力		Q_1 [kN]	Q_2 [kN]	Q_3 [kN]	最小値 [kN]	
			谷部/山部			へりあき寸法 [mm]	平均値 [kN]					95%信頼区間の下限値 [kN]
1	Q-Ta-48-15-E	48.0	谷部	15	へりあき方向	24.1	8.13	7.45	41.83	0.54	9.18	0.54
2	Q-Ta-48-15-EO	48.0	谷部	15	へりあき反対方向	23.9	8.62	7.75	41.59	—	9.18	9.18
3	Q-Ta-48-15-L	48.0	谷部	15	流れ方向	26.9	7.66	7.46	45.01	—	9.18	9.18
4	Q-Ta-48-27-EO	48.0	谷部	27	へりあき反対方向	24.1	8.08	7.02	41.83	—	9.18	9.18
5	Q-Ta-42.5-15-E	42.5	谷部	15	へりあき方向	27.7	6.33	5.76	45.89	0.58	9.18	0.58
6	Q-Ta-41-15-E	41.0	谷部	15	へりあき方向	27.7	7.49	6.61	45.89	0.58	9.18	0.58
7	Q-Ya-42.5-L	42.5	山部	—	流れ方向	28.2	6.15	5.52	46.44	—	9.18	9.18
8	Q-Ya-48-L	48.0	山部	—	流れ方向	28.2	7.26	6.52	46.44	—	9.18	9.18

る。谷部の荷重方向が異なる仕様 No.1 から No.4 では、せん断耐力の明確な差は生じなかった。また、有効埋め込み長さが 48mm 又は 42.5mm の試験体では、谷部と山部の違いによる大きな耐力差は生じなかった。

写真 2 に破壊性状を示す。各試験体はインサートの大変形を伴う破壊性状を示し、デッキプレート付近でインサートに亀裂が生じる試験体もあった。谷部において、コンクリートのコーン状破壊は生じなかった。

引張試験と同様に、表 4 に実験結果の 95%信頼区間の下限値を示しており、以下の比較ではこの値を実験値とする。谷部の荷重方向が異なる試験体 (Q-Ta-48) の 4 種類では、せん断耐力の明確な差は生じなかった。また、有効埋め込み長さが 48mm 又は 42.5mm の試験体では、谷部と山部の違いによる大きな耐力差は生じなかった。

インサートのせん断耐力の計算値は式(3)から式(5)に示す頭付きアンカーボルトのせん断力の評価式により求める。 Q_1 はコンクリートの支圧強度により決まるせん断耐力、 Q_2 はコンクリートのコーン状破壊により決まるせん断耐力、 Q_3 はインサートのせん断強度により決まるせん断耐力であり、これらの最小値を計算値として用いる。なお、流れ方向及びへりあき反対方向に加力した試験体については、十分にへりあき寸法が確保されているため、 Q_1 と Q_3 の小さい方を計算値とした。

$$Q_1 = c \sigma_{qa} \cdot sc a' \quad (3)$$

$$Q_2 = c \sigma_t \cdot A_{qc} \quad (4)$$

$$Q_3 = s \sigma_{qa} \cdot sc a' \quad (5)$$

ここで、

Q_1 : コンクリートの支圧強度により決まるせん断耐力(N)

Q_2 : コンクリートのコーン状破壊により決まるせん断耐力(N)

Q_3 : インサートのせん断強度により決まるせん断耐力(N)

$c \sigma_{qa}$: コンクリートの支圧強度 (N/mm²)

$$c \sigma_{qa} = 0.5 \sqrt{F_c \cdot E_c}$$

F_c : コンクリートの圧縮強度 (N/mm²)

E_c : コンクリートのヤング係数 (N/mm²)

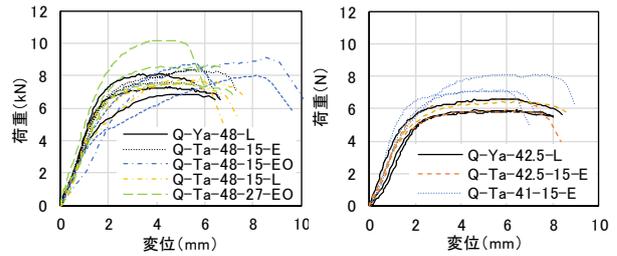
$sc a$: インサート軸断面面積 (mm²)

A_{qc} : コーン状破壊面の有効投影面積 (N/mm²)

$$A_{qc} = 0.5 \pi c^2$$

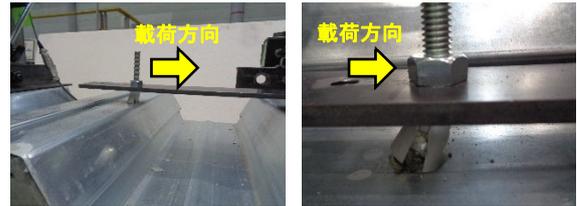
c : へりあき寸法 (mm)

$s \sigma_{qa}$: インサートのせん断強度 (N/mm²)



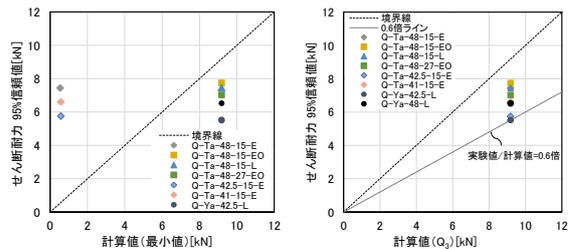
(a) 有効埋め込み長さ 48mm (b) 有効埋め込み長さ 42.5/41mm

図 10 荷重変位関係 (せん断試験)



(a) 谷部 (b) 山部

写真 2 破壊性状 (せん断試験)



(a) 最小値 (b) Q_3

図 11 実験値と計算値の比較 (せん断試験)

$sc a'$: インサートねじ部のねじ孔を除く有効面積 (mm²)

図 11 に実験値と計算値の比較を示す。同図(a)のせん断耐力の計算値に最小値を用いる場合、計算値がコーン状破壊時の耐力 Q_2 により決まる谷部のへりあき方向の試験体で過小評価となった。一方で、同図(b)の計算値にインサート本体のせん断耐力 Q_3 を用いる場合、実験値が計算値の 0.6~0.85 倍となった。実験値が計算値を下回った理由として、インサートの一部がデッキプレートからの突出していることに起因する付加曲げの影響を考慮していないことが考えられる。

4. まとめ

インサートをデッキ合成スラブの谷部と山部に設置した場合のインサートの引張及びせん断試験を実施し、以下の知見を得た。

- (1) 引張試験において、山部又は谷部にインサートを設置した際の引抜耐力は、有効投影断面積をデッキプレートでの欠損を考慮することで、引張力を受ける頭付きアンカーボルトの許容引張力に関する式(2)による評価が可能である。
- (2) せん断試験において、インサートをデッキ谷部に設置した場合、山部に設置した場合に比べ、顕著な耐力低下は生じなかった。デッキ谷部の端に設置した場合においても、へりあき不足によるコンクリートのコーン状破壊は生じなかった。

今後の課題として、頭付きアンカーボルトのせん断耐力の評価式にてデッキ合成スラブにおけるインサートのせん断耐力を算出するには、インサートの突出長さを適切に評価する必要がある。

参考文献

- 1) 土屋英範, 西田悟, 松島俊久, 他: 建築設備用インサートのデッキ合成スラブの引抜耐力に関する実験的研究 その1, その2, 空気調和・衛生工学会大会学術講演論文集, H-16, H-17, pp. 61-68, 2020.
- 2) 日本建築学会: 各種合成構造設計指針・同解説 (第3版), pp.306-307, 2023.
- 3) 空気調和・衛生工学会: SHASE-S 009-2004 建築設備用インサート (2005年改定), pp.9-12, 2005.

執筆者紹介

ひとこと

デッキスラブの谷部に設置するインサートの引抜耐力に関する既往の研究等はあるが、せん断耐力に関する研究はほとんど発表されていない。本報の実験結果は、その破壊メカニズムを明確にし、せん断力の算出方法の設定等に役に立つことを期待したい



武佐 サライデン
修士 (工学)

