

論文 遅延合成スタッドのせん断及び引抜き特性

清水 良平^{*1}・橋 吉宏^{*2}・北川 幸二^{*1}・平城 弘一^{*3}

要旨：遅延合成構造は，異種材料から構成される断面を非合成から合成へ時間と共に変化させる構造であり，この構造に用いる遅延合成スタッドは，硬化するまでの時間を非常に長く設定できる樹脂モルタルを頭付きスタッドの周りに巻き付けたものである。本論文では，この遅延合成スタッドの樹脂モルタルの巻付け範囲を変化させ，樹脂モルタル硬化前後の種々の試験体を利用して，押抜きせん断試験と引抜き試験を行い，その特性について考察を行った結果を報告するものである。

キーワード：遅延合成構造，PRスタッド，押抜きせん断試験，引抜き試験

1. はじめに

著者らは，施工後数ヶ月間は硬化しない樹脂モルタルを使用した遅延合成構造(Post Rigid System)を考案し，図-1のaの鋼・コンクリート合成桁やbの場所打ちPC床版の横締めの実用化している^{1), 3)}。この遅延合成構造は，鋼とコンクリートのような，異種材料から構成される断面を時間とともに非合成から合成へと変化させる構造であり，特殊な構造を有する遅延合成スタッド（以下，PRスタッドと称す）により実現できる構造である。このPRスタッドは，図-2に示すように，通常スタッドの幹根元部および全体に遅延硬化性樹脂モルタルを巻付けることにより，樹脂モルタル硬化前は非常に柔であり，硬化後は完全に合成となるように期待したずれ止めである。

PRスタッドは，スタッド高さの2/3程度の高さに樹脂モルタルを巻き付けるものを標準として基礎的特性試験を行ってきたが^{1)~4)}，樹脂モルタルの被覆の範囲によって，その特性が変わることが予想される²⁾。そこで，巻付け高さを変化させた各種のPRスタッドのせん断や引抜き抵抗について試験を行い，これらの特性の

把握を試みた。

本論文は，以上の試験結果を報告して考察を行ったものである。

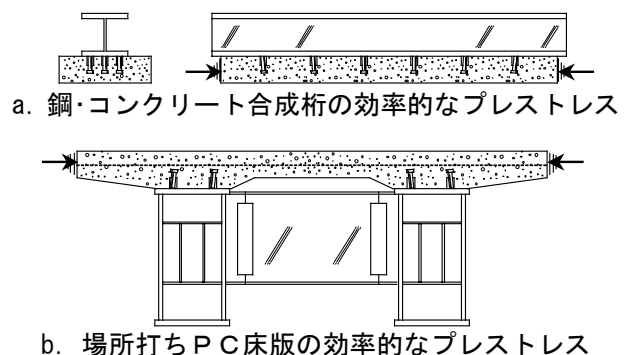


図-1 Post Rigid System の利用例

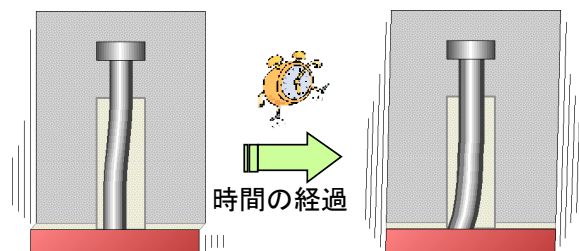


図-2 PRスタッド概念図

*1 川田工業（株） 橋梁事業部技術開発部開発課

*2 川田工業（株） 橋梁事業部技術開発部開発課課長 博（工）（正会員）

*3 摂南大学 工学部土木工学科助教授 工博（正会員）

2. 押抜きせん断試験の概要

(1) 試験体

押抜き試験の試験体寸法を図-3に示す。試験体は、全体被覆タイプと頭部露出タイプ（図-4）の巻付け高さを変えたタイプを用意し、境界面の樹脂が硬化後に及ぼす影響を把握するため、鋼板とコンクリートとの境界面の樹脂塗布の有無、樹脂モルタルの硬化の前後に着目し、各3体ずつ製作した。試験体の種類を表-1に示す。樹脂を覆うための型枠はプラスチック製とし、間隔12mmで高さ2mmのリップを設けた。

(2) 試験方法

押抜き試験は、2000kN型万能試験機を用い、文献5)の試験方法に準じ、図-5に示すような荷重・計測システムで行った。

荷重方法は、変位が0.1mmに達するまで荷重制御による単調増加荷重法で、その後は変位制御による漸増繰返し荷重法で行った。また、計測はウェブ面に設置した変位計により測定した。なお、コンクリートと樹脂モルタルの材料特性を表-2に示す。

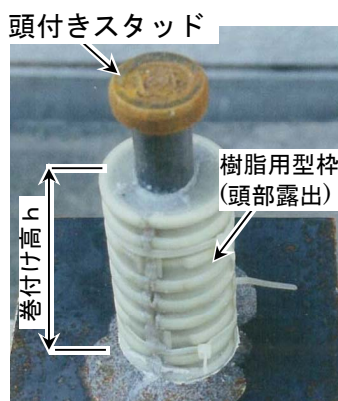


図-4 PRスタッド

表-1 押抜き試験体

試験体	ずれ止め種類 概略図	樹脂モルタル		鋼板面 樹脂塗布
		巻付け 高さh	硬化状況	
タイプ1	通常スタッド 	0mm	—	なし
タイプ2	PRスタッド 	70mm	硬化前	なし
タイプ3		70mm	硬化後	なし
タイプ4		70mm	硬化後	あり
タイプ5	PRスタッド 	100mm	硬化前	なし
タイプ6		100mm	硬化後	なし
タイプ7	PRスタッド 	120mm	硬化前	なし
タイプ8		120mm	硬化後	なし

3. 押抜きせん断試験の実験結果と考察

試験体の破壊性状は、樹脂巻付け高さが70mmの樹脂硬化前の試験体（タイプ2,4）は、

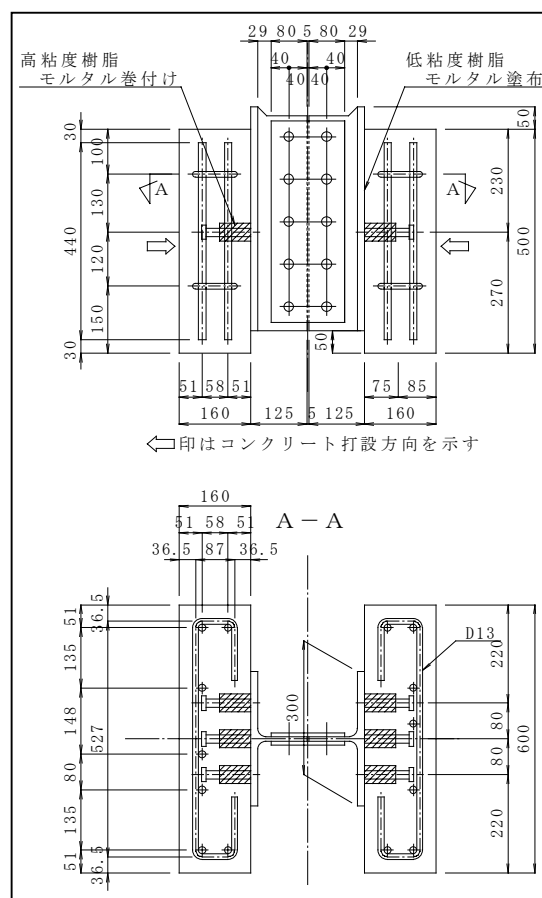


図-3 試験体寸法

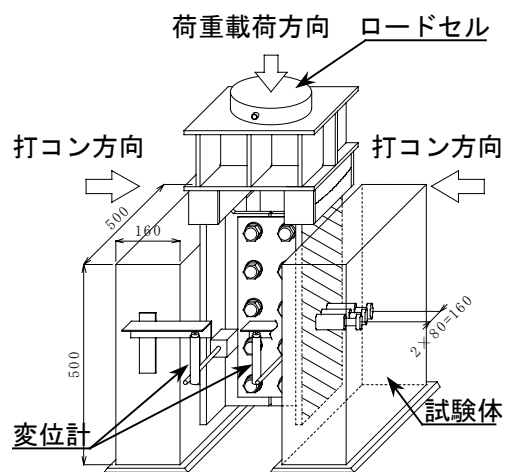


図-5 荷重・計測システム

表-2 材料特性

材料（材令）		圧縮強度 (N/mm ²)	弾性係数 (N/mm ²)
コンクリート	試験前（2ヶ月）	27.5	22950
	試験後（9ヶ月）	32.5	27500
樹脂モルタル	巻付け用（9ヶ月）	116.5	13600
	鋼板塗布用（9ヶ月）	109.7	6200

コンクリートの局所的な破壊となり、樹脂巻付け高さが 100mm 及び 120mm の樹脂硬化前の試験体（タイプ 5,7）は、スタッドが型枠から抜け出て破壊に至った。また、上記以外のタイプはスタッドの破断であった。

3.1 ずれ性状

(1) P Rスタッド（樹脂硬化前）と通常スタッドの比較

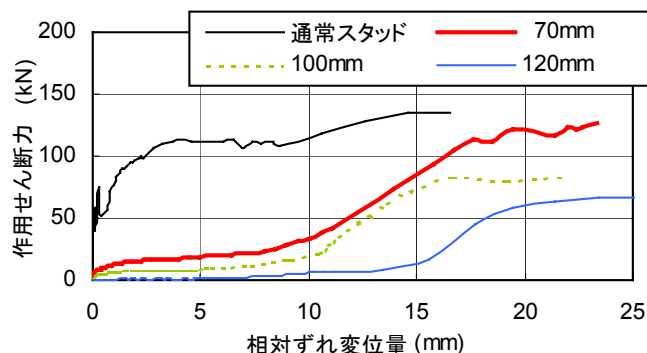
図－6に硬化前のP Rスタッドのせん断力と相対ずれ変位量の関係を示す。P Rスタッド（樹脂硬化前）は通常スタッドと比べて、せん断力50kNのときで変位量を比較すると、通常スタッドは0.03mmであるのに対し、P Rスタッドは11.8～18.3mmとなっており、非常にずれやすいことがわかる。また、P Rスタッドだけを比べてみると、樹脂の巻付け高さが70mmに比べ100mmの場合は7%、120mmの場合は54%変位量が増加している。巻付け高さが70mmと100mmの試験体に関しては10mm程度、120mmの試験体に関しては15mm程度の変位量で勾配が大きくなっているのは、型枠の径の大きさに起因するものと考えられる。これらのことから、巻付け高さ及び型枠の径が大きくなれば、ずれやすい傾向にあることがわかる。

(2) P Rスタッド（樹脂硬化後）と通常スタッドの比較

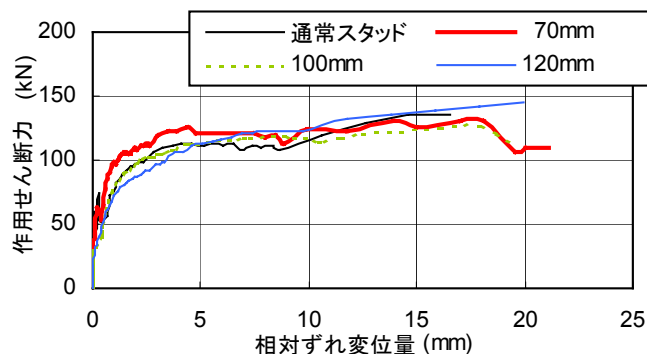
図－7に硬化後のP Rスタッドのせん断力と相対ずれ変位量の関係を示す。硬化後のP Rスタッドは、樹脂の巻付け高さに関係なく、通常スタッドとほぼ同様なずれ性状を示すことが確かめられた。

(3) P Rスタッド（付着の有無）と通常スタッドの比較

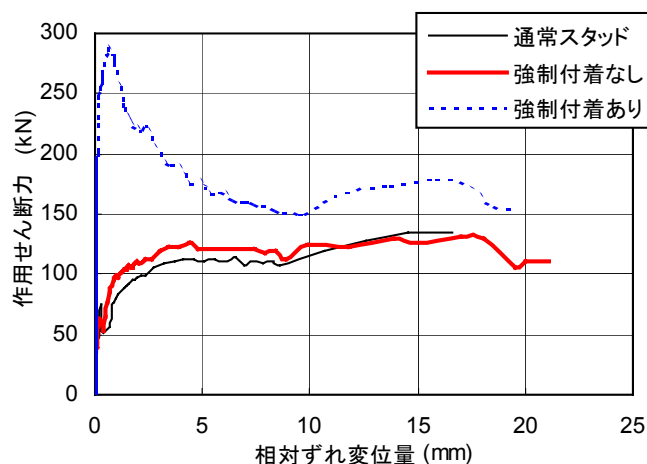
図－8に強制付着あり及びなしの場合における、P Rスタッドのせん断力と相対ずれ変位量の関係を示す。ここで強制付着とは、低粘度の樹脂モルタルを鋼板面に塗布し、鋼板とコンクリートを強制的に付着させたものを指す。強制付着がない樹脂硬化後（巻付け



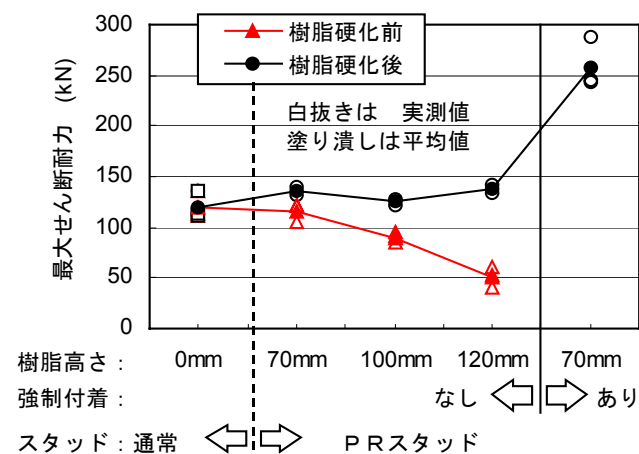
図－6 ずれ性状の比較-1：P Rスタッド（硬化前）



図－7 ずれ性状の比較-2：P Rスタッド（硬化後）



図－8 ずれ性状の比較-3：
P Rスタッド（強制付着の有無）



図－9 最大せん断耐力の比較

高さ 70mm) の P R スタッドと通常スタッドは、相対ずれが増加するに従ってせん断耐力も増加し、ずれ量が 15mm 近くまでせん断耐力の低下は見られなかった。しかしながら、強制付着ありの場合、最大せん断耐力に達したのち、せん断耐力は低下する傾向を示したが、相対ずれ量が増加しても、作用せん断耐力は通常スタッドの耐力に比べ高い値を示した。

3.2 最大せん断耐力

図－9 に巻付け高さ別にまとめた、P R スタッドの最大せん断耐力を示す。樹脂硬化前の P R スタッドの最大せん断耐力は、樹脂の高さが増すほど低下する傾向が見られた。一方、樹脂硬化後の強制付着のない P R スタッドの最大せん断耐力は、通常スタッドと比較して 4～15% 高く、樹脂の高さに関係なく、ほぼ一定の値を示した。また、強制付着をさせた硬化後の P R スタッドの最大せん断耐力は、通常スタッドと比較して 2 倍以上に増加することがわかった。

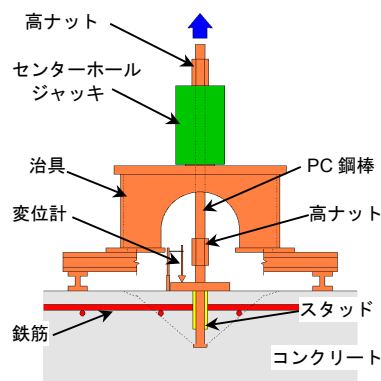
4. 引抜き試験の概要

(1) 試験体

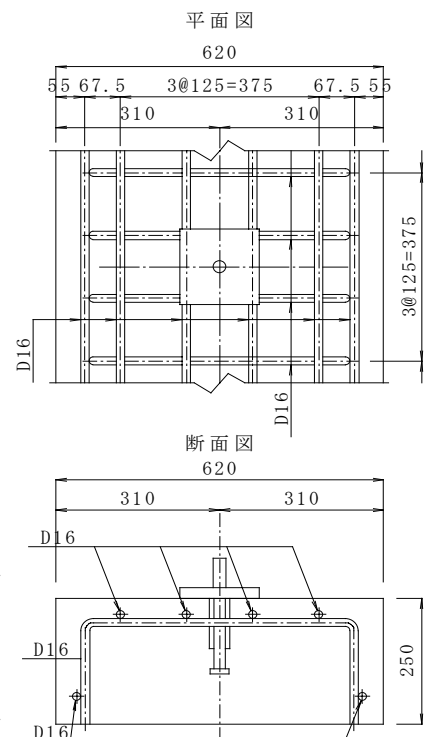
樹脂モルタルの巻付け高、型枠表面のリブの有無、コンクリート内の鉄筋の有無に着目し、表－3 に示す P R スタッドの試験体を各 3 体ずつ製作した。ここで、押抜き試験と同様、使用した型枠のリブは図－10 に示すとおり、型枠内面と外面に円周方向に設けている。比較のため通常スタッドの試験体と、頭径を幹部の 2 倍



図－10 リブ付き型枠



図－11 試験方法



図－12 試験体寸法

表－3 引抜き試験体

試験体 番号	形状	頭 径	型 枠 リ ブ	樹 脂 モ ル タ ル	鉄 筋	引 抜 き 耐 力 (kN)	破 壊 性 状	
1-1-1		φ 35	—	無	無	179	A	
1-1-2					有	184	A	
1-2-2		φ 44			有	197	A	
2-1-1		φ 35	無	硬 化 前	無	133	B	
2-1-2					有	156	B	
2-2-1				硬 化 後	無	185	C	
2-2-2					有	183	C	
3-2-1			有	硬 化 後	無	142	C	
3-2-2					有	183	D	
4-1-1			無	硬 化 前	無	1	E	
4-2-1				硬 化 後	無	161	F	
4-2-2					有	105	F	
5-1-1			有	硬 化 前	無	1	E	
5-2-1					硬 化 後	無	190	G
5-2-2				有		194	H	

としたスタッドも準備した。なお、コンクリートの圧縮強度は $32.4(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，弾性係数は $30900(\text{N}/\text{mm}^2)$ であり，リブ付き型枠の圧縮強度は $246(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，弾性係数は $9600(\text{N}/\text{mm}^2)$ ，引張強度は $196(\text{N}/\text{mm}^2)$ であった。

(2) 試験方法

引抜き試験は，文献 6) を参考に，引抜き部に P C 鋼棒を取り付け，センターホールジャッキで漸増繰返し引抜き力を与えて，破壊に至るまでスタッドをコンクリートから引抜いた。

図-11 に試験方法を，図-12 に試験体寸法を示す。

5. 引抜き試験の実験結果と考察

5.1 樹脂モルタル硬化前の引抜き耐力

樹脂モルタル硬化前について，巻付け高さ別に引抜き耐力の関係を図-13 に示す。ここで，スタッドの破壊形状を表-4 のようにタイプ分けして示した。スタッド頭部を露出したタイプ (2-1-1, 2-1-2) は，B タイプのスタッド頭部近傍の局所的なコンクリート破壊であり，通常の頭付きスタッドに比べ，74%～85%の耐力を示した。全体を被覆したタイプ (4-1-1, 5-1-1) は，硬化前の樹脂モルタルからスタッドが抜けるため引抜き耐力はほとんどなかった。

5.2 樹脂モルタル硬化後の引抜き耐力

樹脂モルタル硬化後について，巻付け高さ別に引抜き耐力の関係を図-14 に示す。

型枠にリブのない P R スタッドのうち，頭部露出タイプ (2-2-2) の破壊性状は C となり，スタッド頭部付近の局所的なコンクリート破壊であった。また，全体被覆タイプ (4-2-2) は破壊性状 F となり，通常スタッドの 57% の耐力であった。リブ無しの場合は，いずれの場合も，型枠とコンクリートの付着は期待できないことがわかった。

一方，型枠にリブがある場合は，頭部露出タイプ (3-2-2) の破壊性状は D となり，型枠の周りにコンクリートの付着がみられ，コーン状に破壊している。また，全体被覆タイプ (5-2-2)

では，耐力は通常スタッドと同程度以上となり，破壊性状は H で，スタッドの幹根元部で破断している。全体被覆タイプ (5-2-1) では，図-15 のように型枠の頭部で，型枠及び樹脂が破断しており，コンクリートはコーン状に破壊し

表-4 破壊性状

A	B	C	D
E	F	G	H

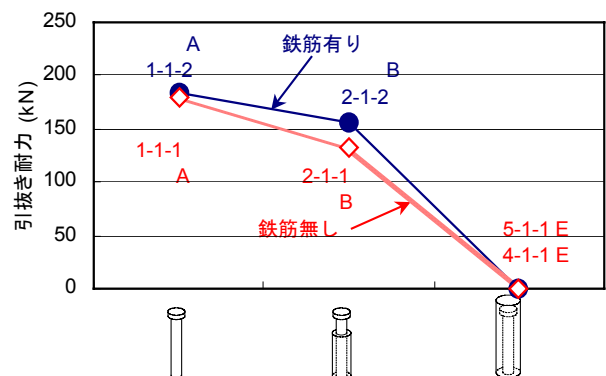


図-13 樹脂モルタル硬化前の引抜き耐力

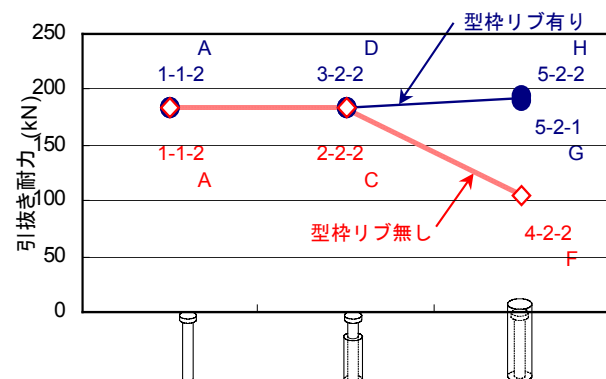


図-14 樹脂モルタル硬化後の引抜き耐力



図-15 試験体 5-2-1 の破壊性状

ている。(破壊性状G) また、スタッドは15mm程度伸びており、降伏していた。

これらのことから、型枠とコンクリートの付着が切れて破壊する型枠リブなしタイプとは異なり、型枠リブありタイプは、スタッドから硬化した樹脂モルタルへ、さらに型枠リブを介して型枠、コンクリートへと引抜き力が伝達されていることがわかる。

5.3 引抜き剛性

図-16に引抜き荷重と相対引抜き量の関係を示す。樹脂モルタル硬化前のスタッド頭部を露出したタイプ(2-1-1)、および硬化後のタイプ(3-2-2, 5-2-2)は、载荷初期において十分な引抜き剛性を有する。

また、通常スタッドが引抜き量8mm付近で耐力が低下しているのに対し、硬化後のタイプ(3-2-2)では14mm付近、(5-2-2)では20mm付近で耐力が低下していることから、硬化後のPRスタッドは、通常スタッドよりも大きな引抜き変位量に追従できることがわかる。

6. まとめ

本試験で確認されたことをまとめる。

- (1) 押抜きせん断試験の結果から、樹脂モルタル硬化前のPRスタッドは、载荷初期から大きなずれ発生を示し、巻付け高さが大きいほどずれは大きくなることがわかった。
- (2) 樹脂モルタル硬化後のPRスタッドは、通常スタッドと同等のずれ性状を示す。
- (3) 樹脂モルタルを鋼板面に塗布した場合、その付着強度が期待でき、付着力は通常スタッドのせん断強度以上の値を示す。
- (4) 引抜き試験の結果から、硬化前の頭部を露出させたPRスタッドは、通常のスタッドに比べ、約8割の引抜き耐力であることがわかった。
- (5) 樹脂モルタル硬化後のリブを設けたPRスタッドは、通常のスタッドと同等の引抜き耐力を示す。

以上の結果から、PRスタッドは、樹脂の硬

化前はせん断力に対して非常にずれ易く、非合成としての特性を有し、樹脂の硬化後は、せん断特性として、また、引抜き特性としても通常のスタッドと同等の性能を示し、合成としての特性を有することが確かめられた。

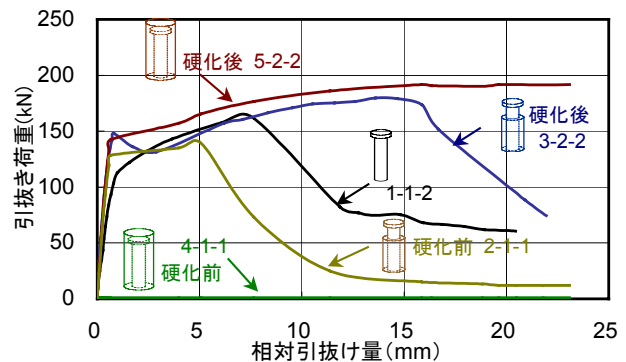


図-16 引抜き荷重-相対引抜き量の関係

参考文献

- 1) 渡辺 滉, 橘 吉宏, 北川 幸二, 牛島 祥貴, 栗田 章光, 平城 弘一: 遅延合成構造の実用化に関する研究, 構造工学論文集 Vol.47A, pp.1363-1372, 2001.3
- 2) 北川 幸二, 平城 弘一, 渡辺 滉, 橘 吉宏, 牛島 祥貴: 遅延合成スタッド (PRスタッド) の押抜きせん断試験, 土木学会第55回年次学術講演会(I), A254, 2000.9
- 3) 橘 吉宏, 平城 弘一, 渡辺 滉, 北川 幸二: 遅延合成構造橋 (PRS橋) 「白鳥橋」の概要, 土木学会第55回年次学術講演会(I), A286, 2000.9
- 4) 須藤 光紀, 渡辺 滉, 橘 吉宏, 北川 幸二, 平城 弘一, 栗田 章光: 合成構造に用いる遅延硬化性樹脂モルタルの物性試験, 土木学会第55回年次学術講演会(I), A255, 2000.9
- 5) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案)とスタッドに関する研究の現状, JSSCテクニカルレポート No.35, 1996
- 6) 平城 弘一, 松井 繁之, 佐藤 崇, Abubaker AL-SAKKAF, 石崎 茂, 石原 靖弘: 縁端距離を考慮した頭付きスタッドの引抜きおよびせん断強度評価式, 土木学会論文集 No.703/I-59, pp.279-291, 2002.4