

地覆定着のための アルミニウム床版の引抜強度

ALST 研究レポート 4

2008 年 3 月

大阪大学大学院工学研究科
大倉一郎，筒井将仁

概 要

開閉断面のアルミニウム床版への鉄筋コンクリート製地覆の取付け構造を考えるために、アルミニウム床版の開断面部と開断面部の引抜強度が引抜試験によって明らかにされる。本研究で明らかにされた事実は、本文の図 10 の断面形状を有する A6061S-T6 の押出型材で製作された、本文の図 4(a)に示す開閉断面のアルミニウム床版 [本文の文献 1]) に限定されることに注意されたい。

- (1) アルミニウム挿入板が用いられない場合、0.2%引抜強度は閉断面部で 115kN，開断面部で 151kN である。これらの値は、車両の衝突荷重による引抜力 70kN を上回る。
- (2) アルミニウム挿入板が用いられない場合、アルミニウム床版に残留変形が残る。アルミニウム床版に残留変形を残さないようにするために、鋼製座金とアルミニウム床版の開断面部の下フランジまたは開断面部の上板との間にアルミニウム挿入板を設ける。A6061P-T6 材で、大きさが 80×80×20mm のアルミニウム挿入板を用いることにより、0.2%引抜強度は、閉断面部で 193kN，開断面部で 244kN になる。

謝 辞

本研究は、科学研究費補助金 基盤研究 (B) (研究課題名：アルミニウム床版による軽量橋の実現，課題番号 19360202，研究期間 2007～2008) の研究費補助金を受けた。

本研究に有益な助言をいただいた，アルミニウム橋研究会 会長 倉西茂 (東北大学名誉教授) ならびに委員の皆様へ感謝致します。

目 次

第1章	序論	1
第2章	試験方法	3
第3章	試験結果	6
	3.1 閉断面部	6
	3.2 開断面部	7
第4章	アルミニウム床版の引抜強度	10
第5章	結論	12
	参考文献	13

第1章 序論

これまで開発してきた開閉断面のアルミニウム床版¹⁾(後出の図4(a)参照)を実用に供するためには、地覆のアルミニウム床版への取付け構造を考えなければならない。

鉄筋コンクリート製地覆のアルミニウム床版への取付け構造を図1に示す。地覆は、U字型鉄筋とナットによってアルミニウム床版に固定される。U字型鉄筋は、アルミニウム床版の開断面部と開断面部に取付けられる。U字型鉄筋をアルミニウム床版の裏面で、ナットで締結するためには、閉断面部では上板と下フランジに、開断面部では上板に孔を開けなければならない。開断面部の上板では、摩擦攪拌接合部に孔が開けられる。

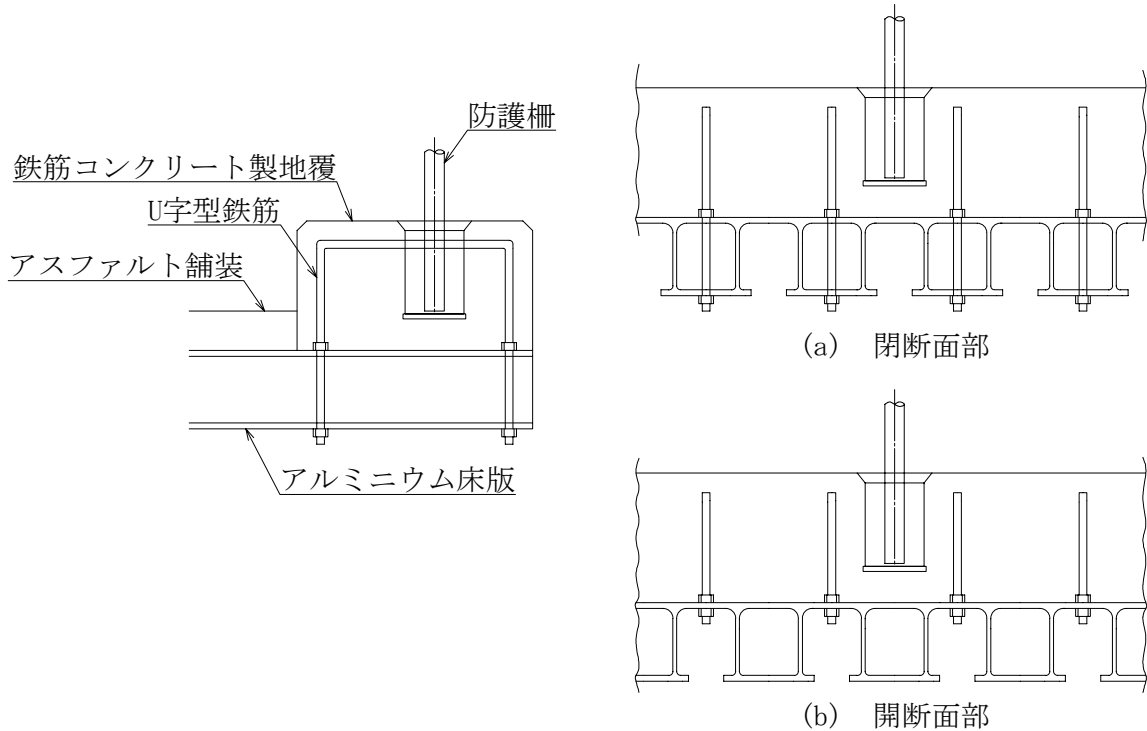


図1 鉄筋コンクリート製地覆のアルミニウム床版への取付け構造

図2に示すように、防護柵に車両が衝突し、防護柵の支柱に水平力が作用すると、地覆の右端を支点として回転モーメントが生じ、U字型鉄筋の左側の鉄筋に引抜力が発生する。防護柵の支柱1本に作用する水平力が、支柱の両側の、支柱に直近の2本のU字型鉄筋によって抵抗されると仮定すると、U字型鉄筋の左側の鉄筋には次の引抜力が生じる。

$$P = \frac{P_H h}{2B} \quad (1)$$

ここに、 P : U字型鉄筋の内側の鉄筋に生じる引抜力、 P_H : 車両の衝突荷重、 h : アルミニウム床版上板の上面と車両の衝突位置との間の距離、 B : 地覆の端と引抜力が生じる、U字型鉄筋の内側の鉄筋との間の距離。

文献2)の設計計算例によれば、 P_H は約70kN、 h は1000mm前後、 B は500mmである。これらの数値に対して、式(1)より、 P は70kNになる。この引抜力に対して、アルミニウム床版の開断面部と開断面部は十分な引抜強度を保持しなければならない。

本研究では、開閉断面のアルミニウム床版の開断面部と開断面部の引抜強度を引抜試験によって明らかにする。

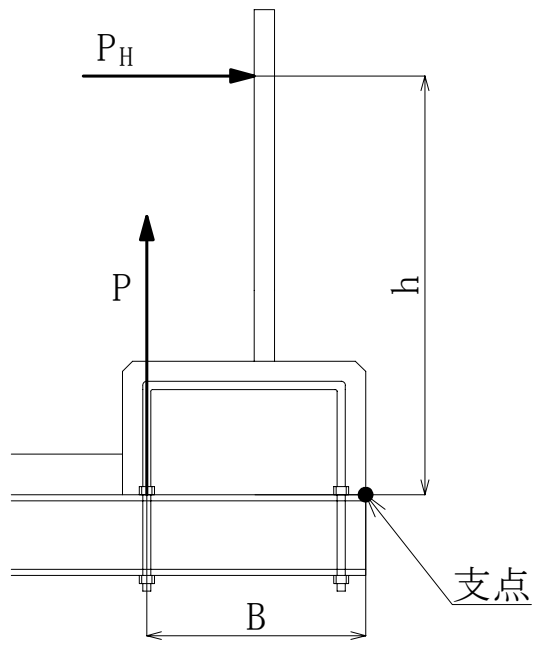


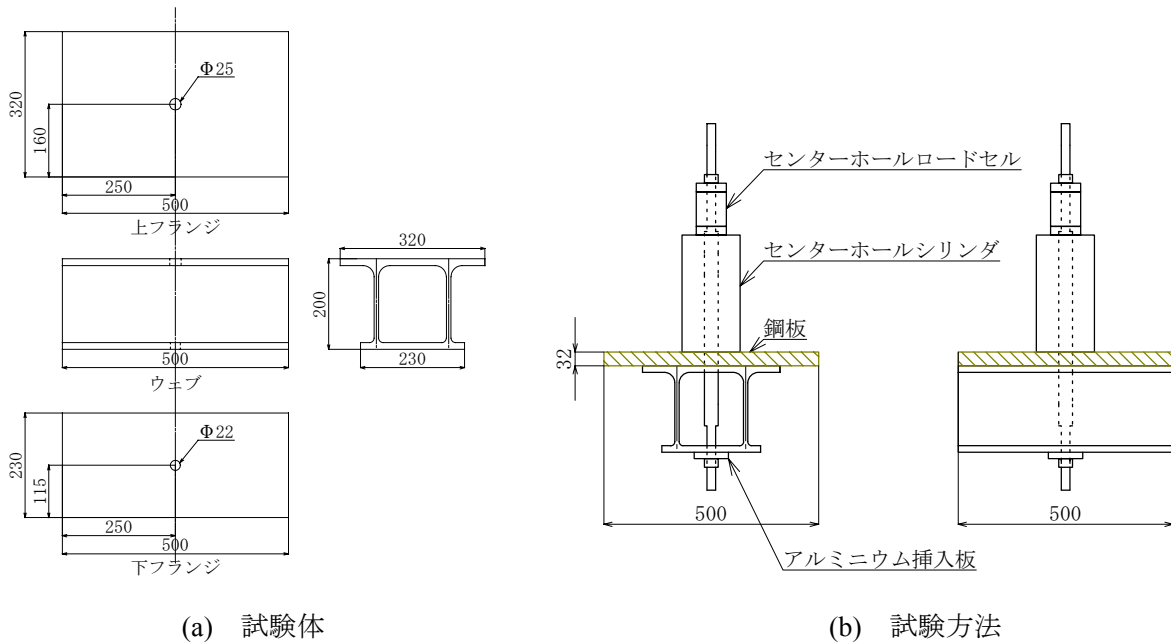
図2 衝突荷重と U字型鉄筋に生じる引抜力

第 2 章 試験方法

図 1(a)に示すアルミニウム床版の閉断面部に U 字型鉄筋を固定する場合に対する試験体を図 3(a)に示す。試験体は、アルミニウム床版の製作に使用される押出型材 1 本を長さ 500mm ごとに切断したものである。試験体の上フランジ中央に直径 25mm、下フランジ中央に直径 22mm の孔が開けられている。

試験装置を図 3(b)に示す。アルミニウム床版の上フランジの上に 500×500×32mm の鋼板が置かれ、その上にセンターホールジャッキが設置されている。一端に M20 のねじ切りされた、直径 23mm の PC 丸鋼棒[B 種 1 号(耐力 930MPa 以上, 引張強さ 1080MPa 以上)]が試験体の下フランジの裏面で M20 の摩擦接合用鋼製高力六角ナットと鋼製座金で締結されている。PC 丸鋼棒の他端はロードセルに締結され、センターホールジャッキによって PC 丸鋼棒に引抜力が発生する。引抜試験の状況を図 3(c)に示す。

引抜試験には、鋼製座金と試験体の下フランジの間にアルミニウム板を挿入した場合の引抜試験も実施した。考慮したアルミニウム挿入板の大きさを表 1 に示す。同表に示すように、アルミニウム板を挿入しない場合を含めて、考慮した試験体の種類は 7 種類である。各種類に対して試験体を 2 体用意した。試験体(A6061S-T6 材)とアルミニウム挿入板(A6061P-T6 材)の機械的特性をそれぞれ表 2, 3 に示す。



(a) 試験体

(b) 試験方法

(c) 引抜試験の状況

図 3 閉断面部

表 1 閉断面部に対する試験体

試験体	アルミニウム挿入板 [mm]
I	なし
II	70×70×15
III	95×95×15
IV	180×180×15
V	80×80×20
VI	95×95×20
VII	180×180×20

表 2 試験体の機械的特性(3本の JIS 14B 号試験片の平均値)

アルミニウム合金材		引張強さ [MPa]	0.2%耐力 [MPa]	伸び [%]	ヤング係数 [GPa]	ポアソン比
A6061S-T6	上フランジ	332	313	10.7	71.2	0.312
	ウェブ	318	303	7.6	71.4	0.309
	下フランジ	330	310	9.1	71.3	0.314

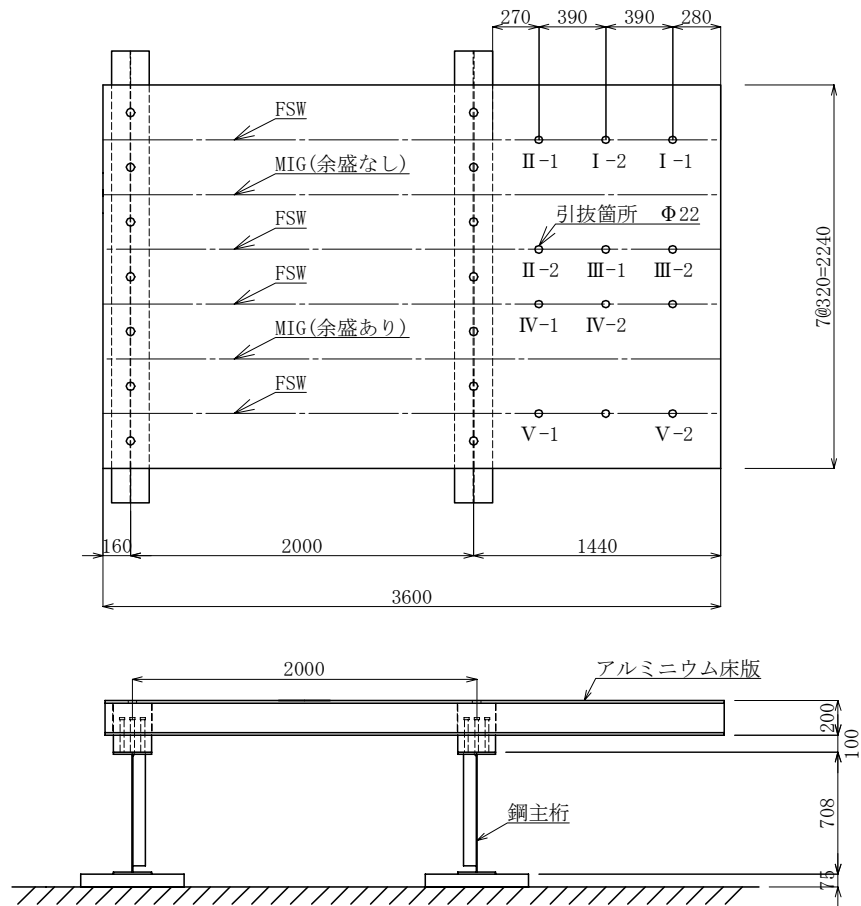
表 3 アルミニウム挿入板の機械的特性(ミルシート記載値)

アルミニウム合金材	板厚 [mm]	引張強さ [MPa]	0.2%耐力 [MPa]	伸び [%]
A6061P-T6	15	324	287	22
	20	321	286	22

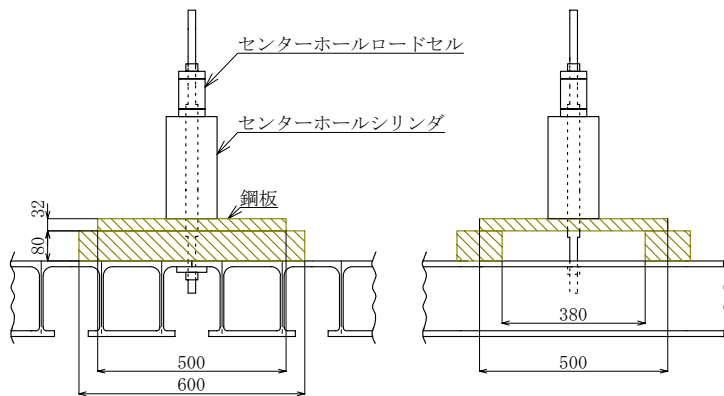
他方、図 1(b)に示すアルミニウム床版の開断面部に U 字型鉄筋を固定する場合に対する引抜試験は、図 4(a)に示すように、これまで開発してきたアルミニウム床版¹⁾の片持ち部の開断面部の上板に直径 22mm の孔を開け、これに前述の PC 丸鋼棒を通し、引抜試験を実施した。孔は、上板の摩擦攪拌接合部の直上に 12 箇所開けられている。この引抜試験においても、表 4 に示す 4 種類のアルミニウム板を鋼製座金と上板の間に挿入した。アルミニウム板を挿入しない場合を含めて、5 種類につき 2 箇所、すなわち図 4(a)で数字が付された 10 箇所で行った引抜試験を行った。試験装置と引抜試験の状況をそれぞれ図 4(b), (c) に示す。アルミニウム床版の母材の機械的特性¹⁾を表 5 に示す。アルミニウム床版は A6061S-T6 材であり、摩擦攪拌接合部は強度低下を起こす。文献 3) によれば、摩擦攪拌接合部の 0.2%耐力は母材の 0.44 倍であることが示されている。したがってアルミニウム床版の摩擦攪拌接合部の 0.2%耐力は 128MPa 程度ある。他方、アルミニウム挿入板(A6061P-T6 材)の機械的特性は表 3 に示してある。

表 4 開断面部に対する試験箇所

試験箇所	アルミニウム挿入板 [mm]
I	なし
II	70×70×15
III	95×95×15
IV	80×80×20
V	95×95×20



(a) 試験箇所



(b) 試験方法



(c) 引抜試験の状況

図4 開断断面

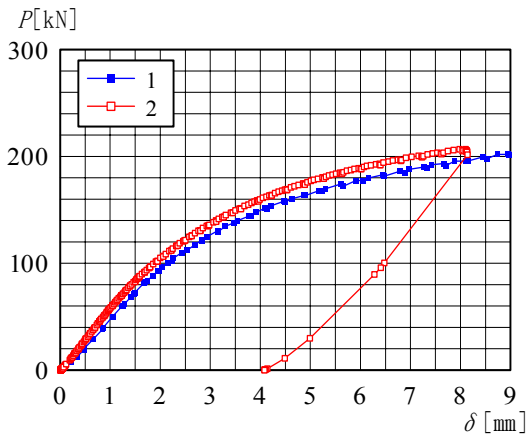
表5 アルミニウム床版の母材の機械的特性¹⁾

アルミニウム合金材	引張強さ [MPa]	0.2%耐力 [MPa]	伸び [%]	ヤング係数 [GPa]	ポアソン比
A6061S-T6	309	292	12.0	71.5	0.31

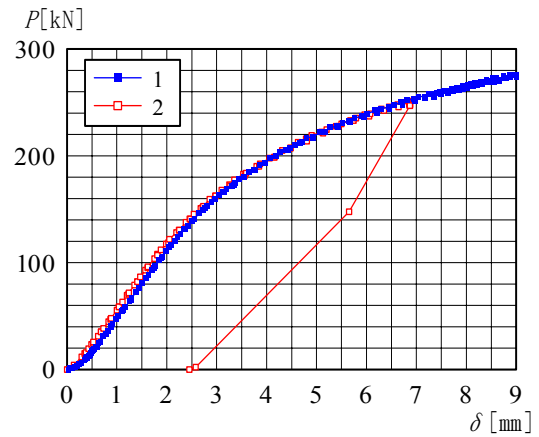
第3章 試験結果

3.1 閉断面部

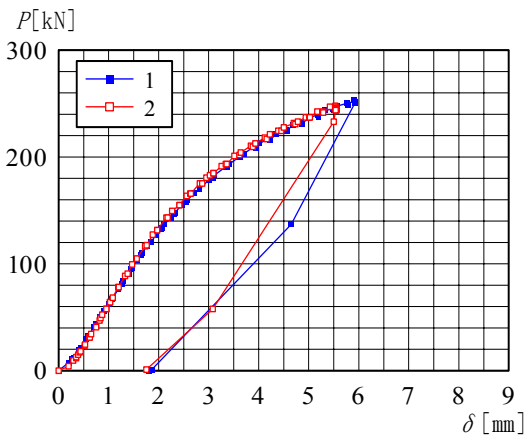
閉断面部に対する荷重 P と PC 丸鋼棒の鉛直変位 δ の関係を図 5 に示す。 P が約 300kN で、PC 丸鋼棒のねじり部分が破断したので、 $P=250\text{kN}$ まで荷重を載荷し、その後除荷した。 PC 丸鋼棒の鉛直変位は、ねじりが施された下端の変位である。 アルミニウム板が鋼製座金と試験体の下フランジとの間に挿入されると、鉛直変位が小さくなる。 そして、アルミニウム挿入板が大きくなるに従って変位は小さくなり、同じ大きさであっても板厚が厚くなると鉛直変位は小さくなる。



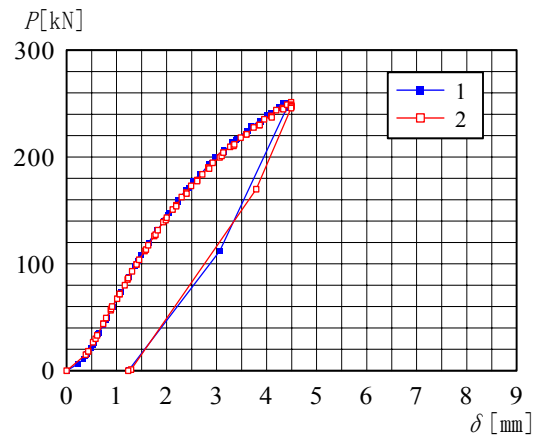
(a) 試験体 I



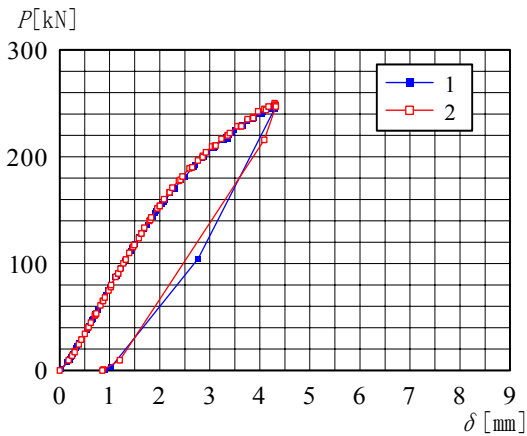
(b) 試験体 II



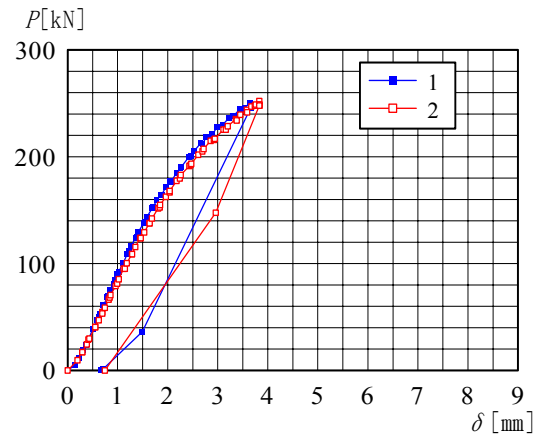
(c) 試験体 III



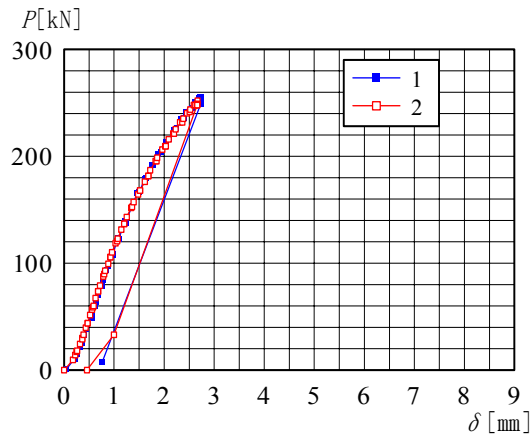
(d) 試験体 IV



(e) 試験体 V



(f) 試験体 VI



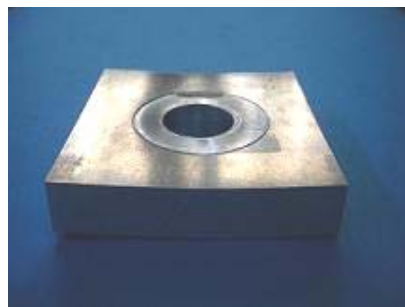
(g) 試験体VII

図5 閉断面部に対する P と δ の関係

引抜試験後の試験体の様子を図6に示す。図6(a)に示すように、鋼製座金と試験体の下フランジとの間にアルミニウム板が挿入されていない場合、試験体の下フランジが大きく面外変形し、さらに円孔周辺で下フランジが局所的に変形し、鋼製座金のめり込み痕が下フランジに残されている。図6(b)に示すように、アルミニウム板が鋼製座金と試験体の下フランジとの間に挿入されていると、アルミニウム挿入板が大きく反り、鋼製座金のめり込み痕がアルミニウム挿入板に残される。しかし図6(c)に示すように、アルミニウム挿入板の矩形の痕が試験体の下フランジに残されるが、試験体の下フランジはほとんど変形しない。



(a) 試験体 I の下フランジ



(b) 試験体 II の挿入板

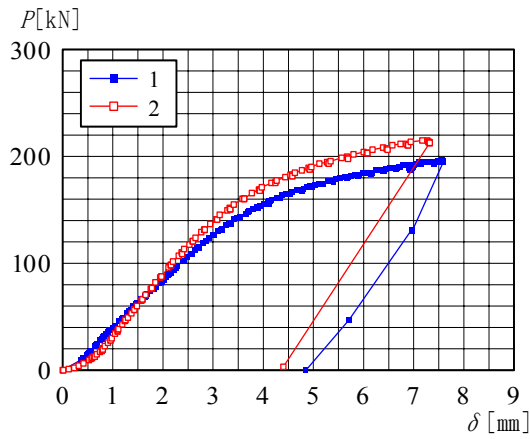


(c) 試験体 II の下フランジ

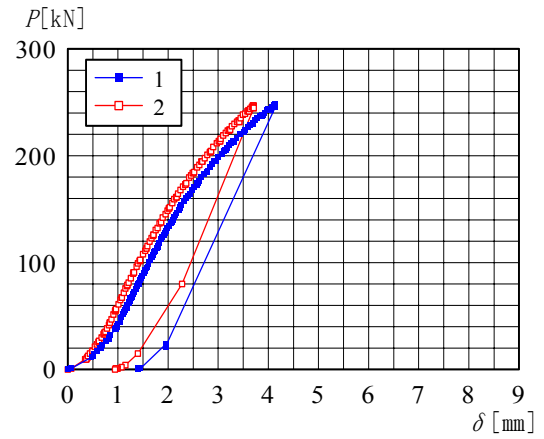
図6 引抜試験後の試験体

3.2 開断面部

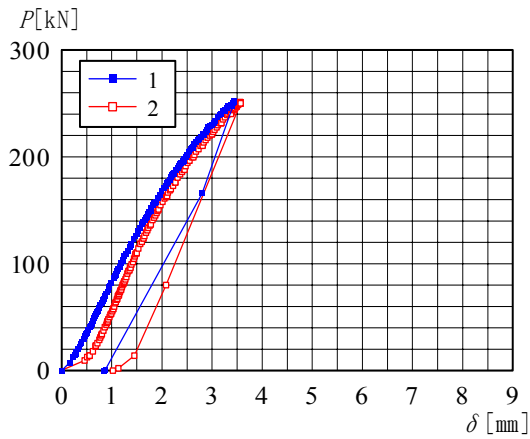
開断面部に対する荷重 P と PC 丸鋼棒の鉛直変位 δ の関係を図7に示す。開断面部の上板は摩擦攪拌接合によって連結されているので水平でないため、アルミニウム挿入板が開断面部の上板に当たるまで PC 丸鋼棒の鉛直変位が進む。したがって試験箇所1と2の試験結果が横方向にずれている。閉断面部の場合と同様に、アルミニウム板が鋼製座金と試験体の下フランジとの間に挿入されると、鉛直変位が小さくなる。そして、アルミニウム挿入板が大きくなるに従って変位は小さくなり、同じ大きさであっても板厚が厚くなると鉛直変位は小さくなる。



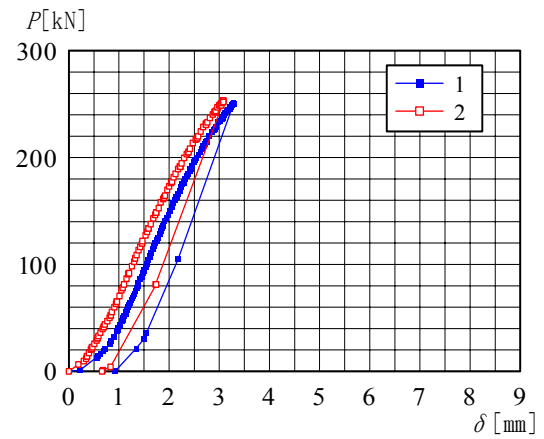
(a) 試験箇所 I



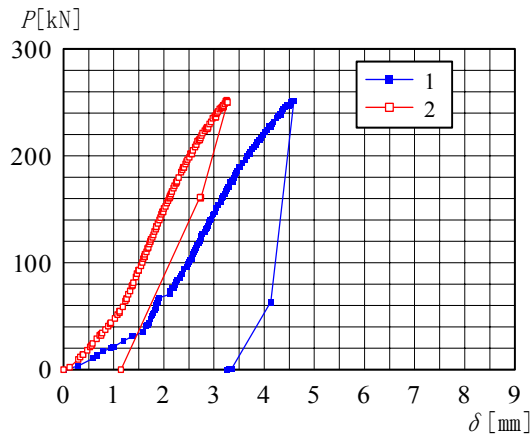
(b) 試験箇所 II



(c) 試験箇所 III



(d) 試験箇所 IV



(e) 試験箇所 V

図 7 開断面部に対する P と δ の関係

引抜試験後の試験体の様子を図 8 に示す。鋼製座金とアルミニウム床版上板との間にアルミニウム板が挿入されていない場合、図 8(a) に示すように、アルミニウム床版上板が大きく面外変形し、さらに円孔周辺でアルミニウム床版上板が局所的に変形し、さらに図 8(b) に示すように、鋼製座金のめり込み痕がアルミニウム床版上板の下面に残される。アルミニウム板が鋼製座金とアルミニウム床版上板との間に挿入されていると、図 8(c) に示すように、アルミニウム挿入板が大きく反り、鋼製座金のめり込み痕がアルミニウム挿入板に残される。しかし図 8(d) に示すように、アルミニウム挿入板の矩形の痕がアル

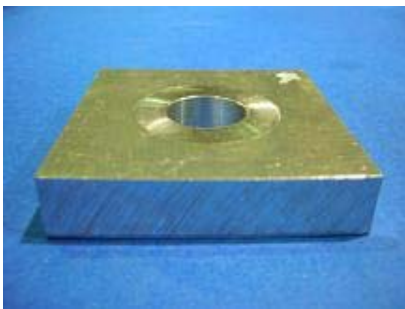
ミニウム床版上板の裏面に残されるが，図 8(e)に示すように，アルミニウム床版の上板はほとんど変形しない。



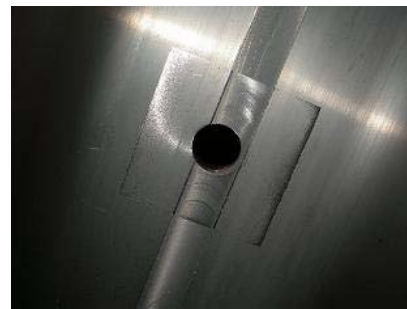
(a) 試験箇所 I のアルミニウム床版上面



(b) 試験箇所 I のアルミニウム床版下面



(c) 試験箇所 II のアルミニウム挿入板



(d) 試験箇所 II のアルミニウム床版下面



(e) 試験箇所 II のアルミニウム床版上面

図 8 引抜試験後の試験箇所

第4章 アルミニウム床版の引抜強度

図5と7に示す荷重 P と鉛直変位 δ の関係を模式的に表すと図9になる。 P と δ の関係は、アルミニウム挿入板が、閉断面部に対する試験体の下フランジまたは開断面部に対するアルミニウム床版上板に密着するまでは曲線を描き、その後両者の関係は直線性を示す。そして、 P が最大荷重に近づくと、 δ が急激に増大する。直線性を示す部分を外挿し、 $P=0$ の水平軸と交わる δ の値に次式で計算される $\delta_{0.2} = 0.32 \text{ mm}$ を加えた δ の値から、直線性を示す部分に平行な線を引き、 P と δ の関係に交差する P の値を0.2%引抜強度 $P_{0.2}$ と定義する。

$$\delta_{0.2} = \frac{L}{500} = \frac{160}{500} = 0.32(\text{mm}) \quad (2)$$

ここに、 L ：アルミニウム床版のウェブ中心間隔

式(2)は、アルミニウム床版のウェブ中心間隔に対して、アルミニウム床版上板の残留変形が1/500すなわち0.2%であることを意味している。アルミニウム床版の製作に使用される押出型材の断面形状の詳細を図10に示す。ウェブ中心間隔は160mmである。

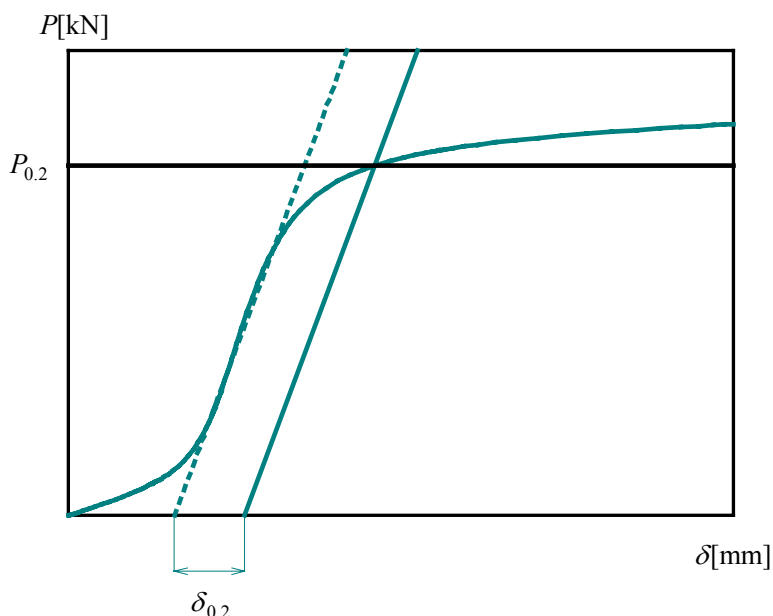


図9 0.2%引抜強度

開断面部と開断面部に対する0.2%引抜強度を表6に示す。開断面部には摩擦攪拌接合部が存在するにもかかわらず、開断面の引抜強度が開断面のそれより大きい。これは、図10に示すように、上フランジ側のフィレット半径が、下フランジ側のフィレット半径より大きく、大きなフィレットが引抜強度の増加に寄与するためと考えられる。

アルミニウム挿入板が用いられない場合、0.2%引抜強度は閉断面部で115kN、開断面部で151kNである。これらの値は、第1章で述べたように、車両の衝突荷重による引抜力70kNを上回る。しかし、アルミニウム挿入板が用いられない場合、不慮に大きな衝突荷重が作用したとき、アルミニウム床版に残留変形を残すことになる。したがって不慮に大きな衝突荷重が作用した場合でも、アルミニウム床版に残留変形を残さないようにするために、鋼製座金とアルミニウム床版の下フランジまたは上板との間にアルミニウム挿入板を設ける。表6のアルミニウム挿入板の寸法と0.2%引抜強度の上昇率を考慮すると、アルミニウム挿入板の大きさとして、閉断面部と開断面部の両者とも $80 \times 80 \times 20 \text{ mm}$ の挿入板が適切と考えられる。このアルミニウム挿入板に対して、0.2%引抜強度は、閉断面部で193kN、開断面部で244kNである。

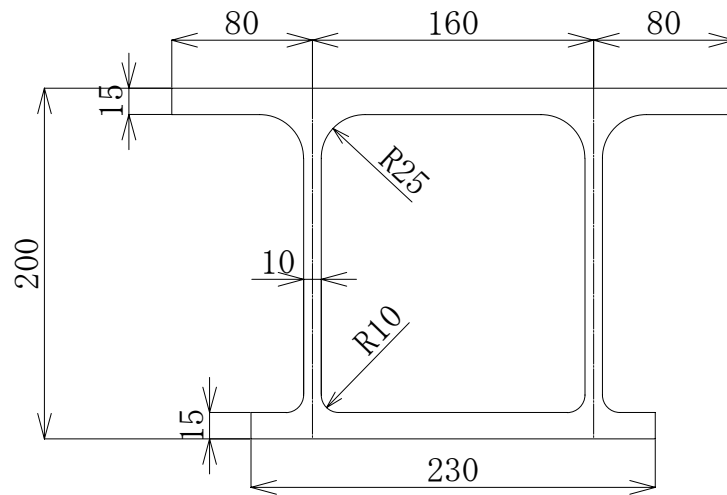


図 10 押出型材

表 6 0.2%引抜強度

(a) 閉断面部

試験体		$P_{0.2}$ (kN)	平均値 (kN)
I	1	115	115
	2	115	
II(70×70×15)	1	173	168
	2	163	
III(95×95×15)	1	170	170
	2	169	
IV(180×180×15)	1	193	187
	2	181	
V(80×80×20)	1	190	193
	2	195	
VI(95×95×20)	1	198	200
	2	201	
VII(180×180×20)	1	235	227
	2	218	

(b) 開断面部

試験箇所		$P_{0.2}$ (kN)	平均値 (kN)
I	1	147	151
	2	155	
II(70×70×15)	1	201	198
	2	194	
III(95×95×15)	1	208	205
	2	201	
IV(80×80×20)	1	247	244
	2	240	
V(95×95×20)	1	252	249
	2	246	

第5章 結 論

本研究では、開閉断面のアルミニウム床版への鉄筋コンクリート製地覆の取付け構造を考えるために、アルミニウム床版の開断面部と開断面部の引抜強度を引抜試験によって明らかにした。以下の結論は、図 10 の断面形状を有する A6061S-T6 の押出形材で製作された、図 4(a)に示す開閉断面のアルミニウム床版にのみ適用できることに注意されたい。

- (1) アルミニウム挿入板が用いられない場合、0.2%引抜強度は閉断面部で 115kN、開断面部で 151kN である。これらの値は、車両の衝突荷重による引抜力 70kN を上回る。
- (2) アルミニウム挿入板が用いられない場合、アルミニウム床版に残留変形が残る。アルミニウム床版に残留変形を残さないようにするために、鋼製座金とアルミニウム床版の開断面部の下フランジまたは開断面部の上板との間にアルミニウム挿入板を設ける。A6061P-T6 材で、大きさが 80×80×20mm のアルミニウム挿入板を用いることにより、0.2%引抜強度は、閉断面部で 193kN、開断面部で 244kN になる。

参考文献

- 1) 大倉一郎, 岡田理, 萩澤亘保, 大澤章吾: 開閉断面のアルミニウム床版の開発, 構造工学論文集, Vol. 51A, pp. 1219-1227, 2005.
- 2) 日本アルミニウム協会: アルミニウム合金製橋梁用防護柵設計要領, LIS SA4-2006, 2006.
- 3) 大倉一郎, 長尾隆史, 石川敏之, 萩澤亘保, 大隅心平: 構造用アルミニウム合金の応力-ひずみ関係の定式化および MIG 溶接と摩擦攪拌接合によって発生する残留応力の定式化, ALST 研究レポート 1, 3月, 2007.