
直線形鋼矢板に関する一施工実験報告

A Driving Test Report on Straight Web Steel Sheet Piling, "KSP-F"

中川 宏夫(Hiroo Nakagawa) 橋本 隆文(Takafumi Hashimoto) 堺 信介
(Shinsuke Sakai) 井上 末富(Suetomi Inoue)

要旨：

当社の製品である直線形鋼矢板K S P - Fに関して、打込み性能を調査するための施工実験を行った。主な用途である鋼矢板セル工法を対象に、長さ 22mのK S P - Fを直径約 8.9 mの円形に打設し、また 2 重鋼管矢板壁工法の間仕切り材を想定し、延長約 4.8mの直線状にも打設した。比較的過酷な施工条件になるよう鋼矢板の長さやセルの直径などを設定し、さらにN値 25～50 の硬い地盤へ鋼矢板を貫入させたにもかかわらず、爪の離脱もなくスムーズに打設でき、このような用途におけるK S P - F の良好な適用性が裏付けられた。

Synopsis：

Straight Web Steel Sheet Piling, "KSP-F", the new products of Kawasaki Steel Corp., have been put to two kinds of driving tests: in one case, the piling was driven into a circular cell with a diameter of 8.9m, while in the other, it was driven into a partition wall 4.8m wide, which is selected taking consideration of the common applications in Japan. In the case of the circular cell, such very severe conditions were imposed: piling as long as 22m; hard soil with N-value of 20-50; and large turning angle of 5.14°per pile. Nevertheless, the piling was driven smoothly without any interlock failure, thus proving the fitness of KSP-F to such severe applications.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

直線形鋼矢板に関する一施工実験報告

A Driving Test Report on Straight Web Steel Sheet Piling, "KSP-F"

中 川 宏 夫*

Hiroo Nakagawa

橋 本 隆 文**

Takafumi Hashimoto

堺 信 介***

Shinsuke Sakai

井 上 末 富****

Suetomi Inoue

Synopsis:

Straight Web Steel Sheet Piling, "KSP-F", the new products of Kawasaki Steel Corp., have been put to two kinds of driving tests: in one case, the piling was driven into a circular cell with a diameter of 8.9m, while in the other, it was driven into a partition wall 4.8m wide, which is selected taking consideration of the common applications in Japan. In the case of the circular cell, such very severe conditions were imposed: piling as long as 22m; hard soil with N -value of 20-50; and large turning angle of 5.14° per pile. Nevertheless, the piling was driven smoothly without any interlock failure, thus proving the fitness of KSP-F to such severe applications.

1. 緒 言

直線形鋼矢板は、鋼矢板セル工法の外殻材として開発された製品である。鋼矢板セル工法は、所定の平面形状をなすように鋼矢板を多数打設し、これを外殻材としてその中へ良質の土砂を投入するもので、外殻材と中詰砂が一体となって背後からの土圧や水圧などに抵抗する。この工法は、比較的大水深のけい船岸や河口堰の仮締切工事などに利用され、この場合、他の構造様式に比べ、使用する鋼材重量が少なく経済的であると言われて

いる。
当社では、外殻材にコルゲート鋼板を利用する同種のコルゲートセル工法をすでに開発し¹⁾、数多

くの実績を有しているが、このたび直線形鋼矢板に関しても進出を図るべく、本格的な製造・販売を行うこととなった。

直線形鋼矢板は、円状あるいは円弧状に打設可能で、かつ非常に大きな爪部引張耐力を有し、しかも比較的軽量でもある。しかし、1枚あたりの断面剛性は極めて小さく、施工にあたっては細心の注意が要求される。特に鋼矢板セル工法では、構造物全体の安定性を考慮して、強固な支持地盤までその先端を貫入させるのが望ましいとされている。加えて、最近では、比較的軟弱な地盤でも地盤改良工法を併用してこの工法が利用されている。このような場合、長さが20mを越えるような長尺で使用される例も多い。我が国に限らず過去数多くの工事にこの工法が採用されてきたが、施

* エンジニアリング事業部建設技術部建材・海洋技術室

*** エンジニアリング事業部建設技術部土木技術室(水島駐在・主任・掛長待遇)

〔昭和52年8月1日原稿受付〕

** 水島製鉄所管理部条鋼管理課

**** エンジニアリング事業部建設技術部構造技術センター

工時のトラブルや打設後の中詰段階でセルが崩壊したような事例²⁾もある。

一方、直線形鋼矢板のもつ特長が着目されて、新たな用途もひらけつつあり、たとえば、軟弱な地盤に構築される2重鋼矢板壁工法において、その間仕切り材として直線形鋼矢板を活用する例³⁾も多く見受けられるようになってきた。一般に2重鋼矢板壁は、頭部をタイロッド等で連結し固定するだけなので、軟弱な地盤では壁の変形が予想外に大きくなることがある。直線形鋼矢板による間仕切りは、この変形を減少させて構造物全体の安定性を向上させる。

本報では、このような直線形鋼矢板の使用状況にかんがみ、比較的過酷な施工条件のもとでKSP-F(当社規格で有効幅400mm、有効高さ44.5mm、ウェブ厚9.5mm)を実際に打設し、その時の打込み性や鋼矢板の挙動を調査、確認した施工実験に関して報告する。

2. 直線形鋼矢板の特性

鋼矢板セル工法では、中詰砂などによって内圧が作用するいわゆる薄肉円筒材として外殻材の設計が行われる。この場合、外殻材には周方向引張力しか作用しないものとして計算するから、直線形鋼矢板は他のU形やZ形鋼矢板のように大きな曲げ剛性を必要とせず、最少限の鋼材で最大の引張耐力が期待できるように断面の設計が行われている。しかし、鋼矢板セル工法では多数の直線形鋼矢板をもって外殻材を構成するので、その一つでも内圧などによって爪部が離脱すると、セル全体の崩壊につながることもある。このため、JIS A 5528(鋼矢板)では、特に直線形鋼矢板の爪

部嵌合引張試験を規定し、爪部の引張耐力に関して保証を求めている。それによれば、爪部を有する幅100mm、長さ約300mmの試験片2個を相互に嵌合させて、JIS Z 2241(金属材料引張方法)に基づいて試験を行い、その強度が鋼矢板長さあたりに換算して400t/m以上であることとされている。また、港湾構造物設計基準⁴⁾では、安全率を加味して、設計時の許容矢板張力は150t/mを標準とするよう規定されている。

このたび当社で製造、販売することになった直線形鋼矢板は、Table 1のような断面諸元を有する。本実験の供試体はウェブ厚9.5mmのKSP-Fで、JIS A 5528 2種SY30の規定に基づいて圧延されたもので、その化学成分、機械的性質の実測値をTable 2に示す。また爪部嵌合引張試験結果はFig. 1のとおりで、平均533t/mの強度を有し、下限でも400t/m以上という規定を十分に満足している。

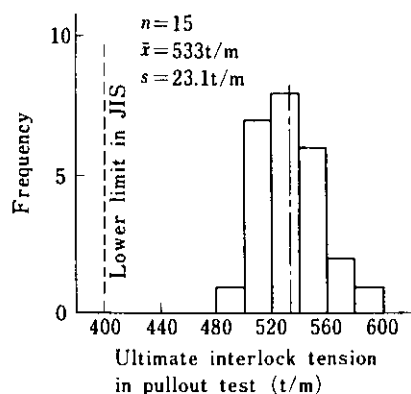


Fig. 1 Frequency distribution of ultimate interlock tension between test piles

Table 1 Dimensional properties of straight web steel sheet pilings

Section	Dimensions			Sectional area (cm ²)	Weight		Moment of inertia (cm ⁴)	Section modulus (cm ³)
	W (mm)	h (mm)	t (mm)		Per pile (kg/m)	Per wall width (kg/m ²)		
KSP-F	400	44.5	9.5	69.07	54.2	136.0	190	47.8
KSP-FA	400	44.5	12.7	77.50	60.8	152.0	196	48.3

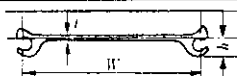


Table 2 Chemical composition and mechanical properties of test specimens

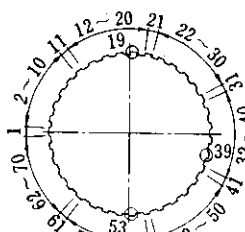
No.	Chemical composition (%)						Mechanical properties		
	C	Si	Mn	P	S	Cu	Y.P. (kg/mm ²)	T.S. (kg/mm ²)	El. (%)
1	0.37	0.07	0.78	0.014	0.022	0.27	35	56	25
2	0.37	0.06	0.78	0.016	0.022	0.27	37	57	26
3	0.36	0.06	0.80	0.018	0.020	0.26	36	60	22
4	0.38	0.05	0.80	0.018	0.018	0.28	36	58	24
JIS	—	—	—	≤ 0.040	≤ 0.040	≥ 0.25	≥ 30	≥ 50	≥ 18

3. 施工実験の概要

実験は、1976年11月～12月にかけて、当社水島製鉄所の構内に実験場所を設け、鋼矢板セル工

法を対象とした円形施工実験と、2重鋼矢板壁工法の間仕切りを対象とした直線施工実験の2種を同時期に行った。Fig. 2 に実験概要を示す。

Driving test for circular cell



Setting points of guide sheet piles
No. 1, 11, 21, 31, 41, 51, 61
Test specimens with strain gages
No. 19, 39, 53

Driving test for partition wall

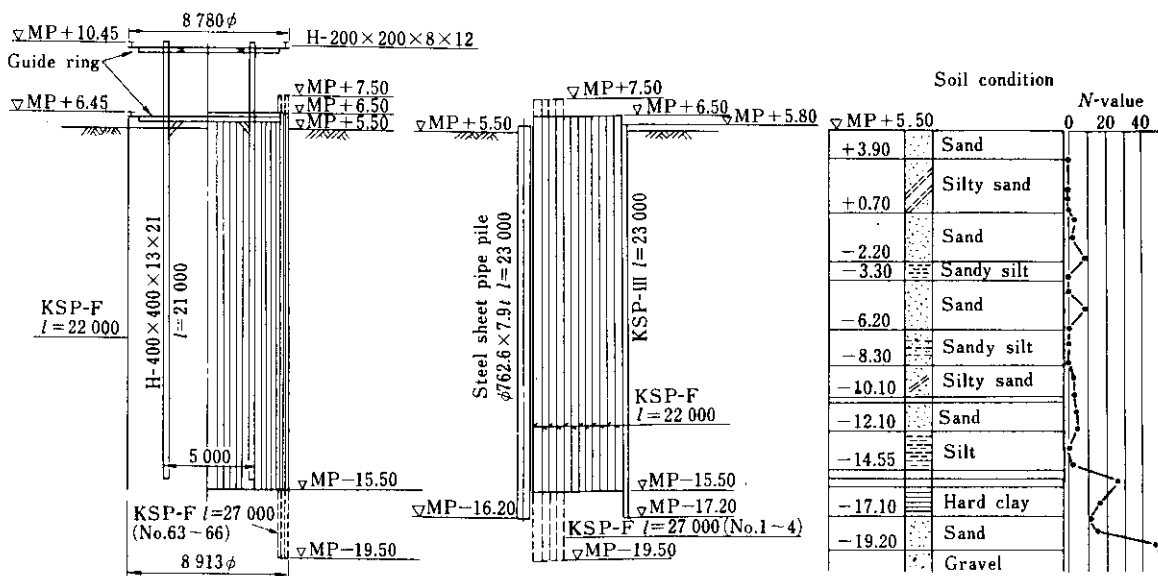
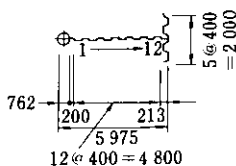


Fig. 2 Layout of driving test

3・1 円形施工実験

3・1・1 施工方法

鋼矢板セル工法では、多数の直線形鋼矢板を少しずつ回転させ、所定の円形に打設、閉合していく。円形施工実験では、長さ 22m の KSP-F 70 枚を用いて、直径約 8.9m のセルを構成することとした。このとき、KSP-F の 1 枚あたりの回転角は 5.14° に相当する。我が国における鋼矢板セルの直径は大半が 15m を越え、1 枚あたりの回転角も約 1.5° 未満であるから、今回の実験の施工条件はかなり厳しいものと考えられる。また、一部の供試体は長さを 27m とし、N 値 50 以上の砂礫層へその先端を貫入させることとした。

本実験では長さ 22m の長尺供試体を打設するので、導棒工には Fig. 2 に示した 2 段ガイドリング方式を採用し、4 本の H 杭で支持した。ガイドリングの主材となる円形リングは H 形鋼を曲げ加工して製作したが、このときの外周半径は施工時の余裕をみてセル内周半径より 20mm 小さくした。導棒工には、案内矢板と称される長さ 8m の KSP-F を供試体の打設に先立ち円周方向 7 箇所仮固定した。建込み時にはこの案内矢板間を 1 ブロックとしてまず閉合し、これを次々に繰返すことによってセルの閉合を進めていくことになるので、セル工事では案内矢板が重要な役割を果たす。供試体の打設は、リーダ長 32m の 3 点支持式クローラ型杭打機に、建込み時は 50HP のバイプロハンマを、打下げ時には D-12 のディーゼルハンマをそれぞれ搭載して行った。供試体の施工は、まず鋼矢板長さの 1/2 を土中にバイプロハンマで建込み、セルを閉合した後に 3 段に分けてディーゼルハンマで打下げた。建込みにあたっては、上述したように案内矢板間を 1 ブロックとして次々に閉合を進め、案内矢板を含めたセルの閉合を行った。Photo. 1 に建込み作業の状況を示す。案内矢板はこの後ガイドリングとの仮固定を解いて引抜き、本矢板と入換えて建込み作業を終了した。供試体の打下げ量は第 1 段が 6m、第 2 段が 3m、第 3 段が 2m で、各段とも 2 枚を 1 組にディーゼルハンマで打下げた。Photo. 2 に第 3 段打下げ時の状況を示す。



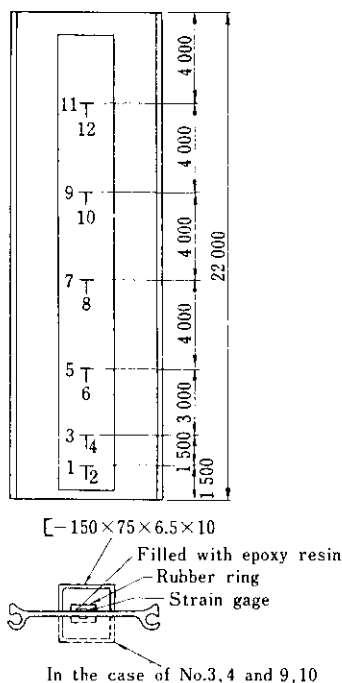
Photo. 1 Pitching work of circular cell



Photo. 2 Final driving work of circular cell

3・1・2 打込み時の歪測定

歪測定用供試体は、Fig. 2 に示したように円周方向 3 箇所配置した。歪計は Fig. 3 に示すように 1 枚の供試体につき深度方向 6 箇所に貼付し、セル周方向歪と打撃軸方向歪とを測定した。すべての測点で供試体中央、ウェブの片面に歪計を貼付したほか、測点 3、4 および 9、10 ではウェブの裏面にも歪計を貼付し、曲げ消去が可能な 4 ゲージ回路を組み、軸力のみを抽出した。貼付した歪計やコードなどはみぞ形鋼で保護し、鋼矢板とみぞ形鋼とは断続溶接した。みぞ形鋼の溶接による測定値への影響は、別途 Photo. 3 に示すような較正試験などを行い調査したが、溶接長さを全長の 30% 以下にとどめ、かつ測点より上下 500mm は溶接しないこととしたので、実用上は補正する必要のないことが明らかとなった。歪の測定は供試体吊込み時を基準（ゼロ点）として、残留静歪に関しては建込み終了時および各段打下げ終了時に、



T: Measuring points for
hoop and vertical strain

Fig. 3 Strain gage arrangement

打撃動態に関しては各段打下げ時の貫入量 1m ごとにそれぞれ行った。使用した歪測定機器を Table 3 に示す。

3・2 直線施工実験

直線施工実験では、まず長さ 23m の $\phi 762.6 \times 7.9$ 鋼



Photo. 3 Stress calibration test

管矢板を、次いで長さ 23m の U 形鋼矢板 KSP-III 5 枚をバイプロハンマでそれぞれ打設して 2 重鋼矢板壁を構築し、その間に長さ 22m の KSP-F 12 枚を打設し接続した。また円形施工実験と同様、一部の供試体は長さを 27m とし、その先端を N 値 50 以上の砂礫層へ貫入させた。供試体と接続する鋼管矢板および鋼矢板には、あらかじめ半裁した KSP-F を溶接した。

さて、このような 2 重鋼矢板壁では、前背面の接続矢板が施工誤差もなく所定の間隔に打設されることは極めて少ないと考えられる。本実験ではこの誤差がマイナス側になった場合を想定し、所

Table 3 Apparatus for measuring strain

	Instrument	Type	Specification	Quantity
Static	Sensor	Strain gage	WFCA-3 Gage length: 3mm, Base: Foil Damp proof type, Crossed gage	36
		Switch box	SS-24J Non-balance type Change-over switch: 24	3
		Static strain meter	TS-1B Measuring range: $\pm 200\,000 \times 10^{-6}$ Bridge power source: AC 1.5V, 330Hz	1
Dynamic		Dynamic strain meter	COV-110A Response frequency: 0~10kHz DC bridge type	6
		Data recorder	RTP-110B Recording channel: 14, S/N: 50dB, Frequency band: DC~5kHz, Tape speed: 38cm/s	1
		Electromagnetic oscillograph	RMV-550 Light: Mercury, Osillo paper width: 178mm Response frequency of galvanometer: 0~4kHz	3

定の接続矢板間距離 4 800mm に対して 30mm 短くなるよう前、背面の鋼矢板を打設した。

本実験では、供試体を直線状に打込むだけなので、導棒工は H 形鋼による片導材のみとし、その両端はすでに打設した鋼管矢板および鋼矢板の頭部と溶接し仮固定した。打込みに使用した杭打機、ハンマはすべて円形施工実験のものと同じである。

供試体の建込みは鋼管矢板側より開始した。建込み時の根入れ長は 12m である。打下げは円形施工実験と同様、3m ずつ 3 段に分けて行い、各段とも 2 枚を 1 組とした。Photo. 4 に第 1 段打下げ終了時の状況を示す。

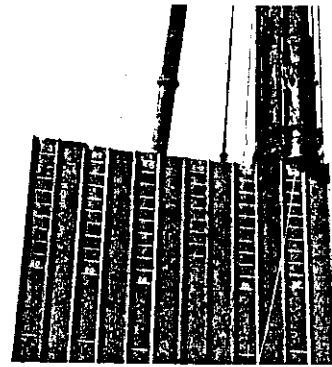


Photo. 4 First driving work of partition wall

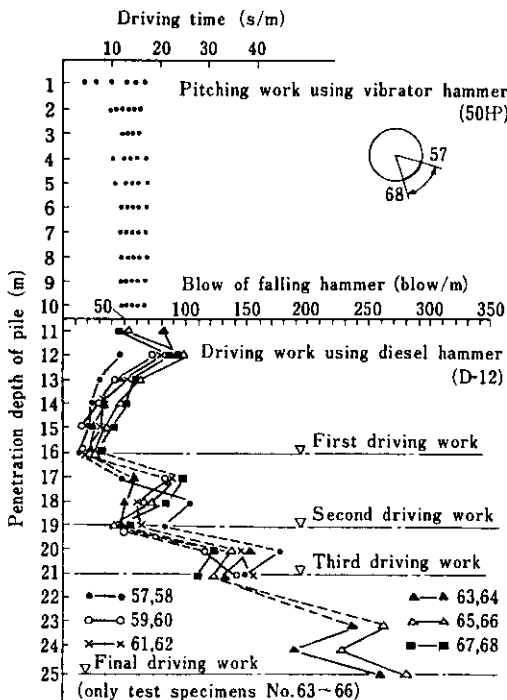
4. 実験結果と考察

4.1 打込み時の貫入抵抗

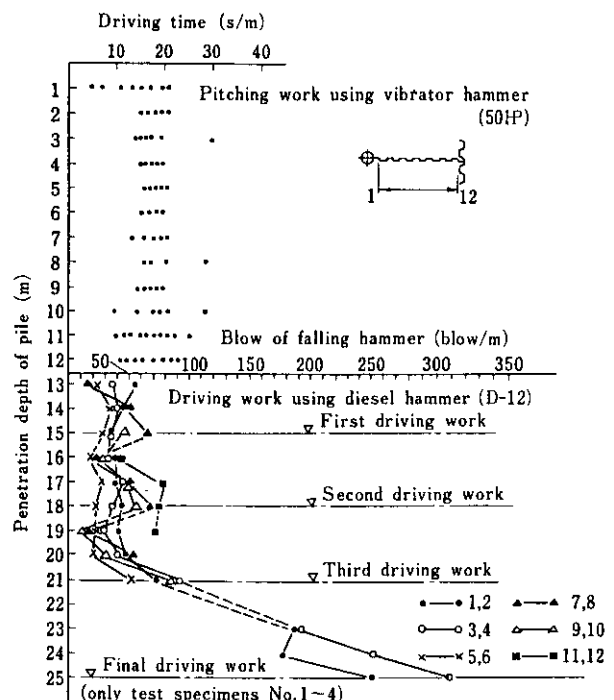
円形施工実験における貫入抵抗は、大半の供試体がほぼ同様の挙動を示した。その代表例を Fig. 4 に直線施工実験の結果とともに示す。建込み時には、

一部の供試体を除いて、両実験とも 1m 貫入させるのに要した時間がわずかに 10s であり、極めて貫入抵抗が小さかった。これは、建込み深度までの土質が全体に比較的軟弱なシルト層で、供試体の先端抵抗や周辺摩擦抵抗が少なかったこと、供試体の形状変形や施工時の傾斜などによる爪抵抗が小さかったことによるものと考えられる。

供試体の打下げは、円形、直線施工実験とも数



(a) Driving test for circular cell



(b) Driving test for partition wall

Fig. 4 Penetration resistance against piles

段に分けて行った。ところが、円形施工実験では各段の境界において貫入抵抗に大きな違いが生じた。この原因は実験工程の都合上、打下げを3日間にわたって行わざるを得なくなり、タイムラグによってシルト層の粘着力が回復し、その結果各段打下げ当初に周辺摩擦抵抗が増大したものと考えられる。しかし、打下げ時における貫入抵抗は、全体的に貫入長の増加につれて増大する傾向が見られる。特に N 値が 25 近くになる深度 20m 付近では、1m 貫入させるのに要した打撃数が 120~180 回であり、 N 値が 50 近くになる深度 25m 付近では 280 回にも達する。これを 1 打撃あたりの貫入量に換算すると 3.6mm に相当する。一般に直線形鋼矢板の打設にあたっては、1 打撃の貫入量が 5mm 未満になると爪離脱などのトラブルが生じる恐れがあるので、これ以上の打設は控え、根入れ長さの再検討が済むまで工事を中断することが多い。本実験ではこの制限をこえて打設したことになる。

直線施工実験では 1 日のうちに連続して打下げを進めたので、円形施工実験のようなタイムラグの影響は比較的少なかった。したがって、軟弱なシルト層付近での貫入抵抗は、円形施工実験と比較してやや小さな結果となっている。しかし、砂礫層となる貫入長 25m 付近では上述したような影響もなくなり、最終的な貫入抵抗は、円形、直線施工実験とも同じような挙動を示した。

4・2 建込み時の傾斜

一般にセルの閉合や 2 点間の接続が必要となき

は、打設位置や打込み時の傾斜などに細心の注意が要求される。本実験ではトランシットを用いて常時傾斜の管理を行ったが、建込み終了後に改めて傾斜量の測定を実施した。その結果、円形施工実験においては最大 1/250、平均 1/1 200 であった。また直線施工実験では最大 1/500、平均 1/2 700 であった。一般に U 形や Z 形鋼矢板などの施工時における傾斜量は 1/100 前後で管理されるケースが多い。本実験では、これらに比べて極めて小さい傾斜量で施工できた。

4・3 円形施工実験における構成円の精度

Fig. 5 は打下げ終了時に供試体の天端において測定した対角線上の供試体間距離に関して、その誤差を示したものである。本実験では、所定値より平均で 32mm 小さいセルが構成された。これは、ガイドリングの外径を所定値より 40mm 小さく製作したことに起因していると考えられる。一般のセル工事では、中詰を行う際に鋼矢板爪部間の遊び量によってセル径が大きくなる傾向にあり、この程度の誤差は実用上まったく問題にならないと考えられる。

4・4 円形施工実験打込み時の歪

建込みおよび各段の打下げ終了後に残留した周方向引張力を Fig. 6 に示す。建込み終了時において、供試体 No.53 で 32t/m の引張力が地中部で記録された。供試体 No. 53 は、円の最終閉合箇所隣接して配置したものである。各段打下げ終了時では最大の引張力が依然としてこの点に残留し、

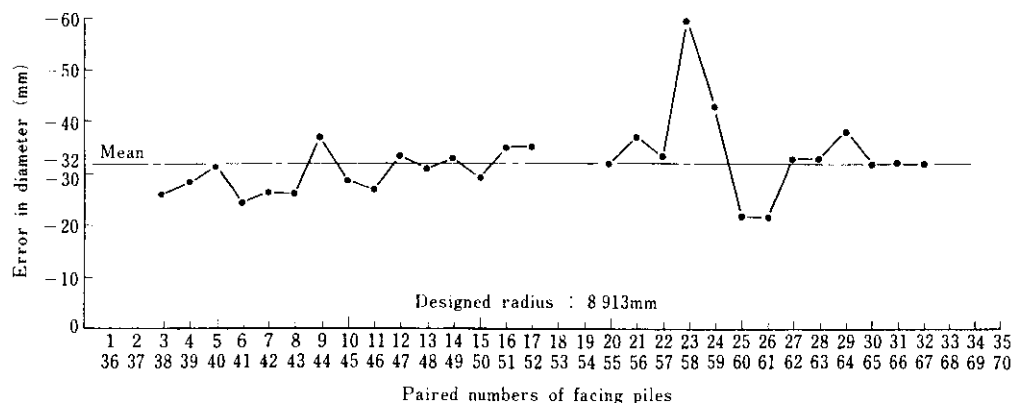


Fig. 5 Deviation in cell diameter after driving

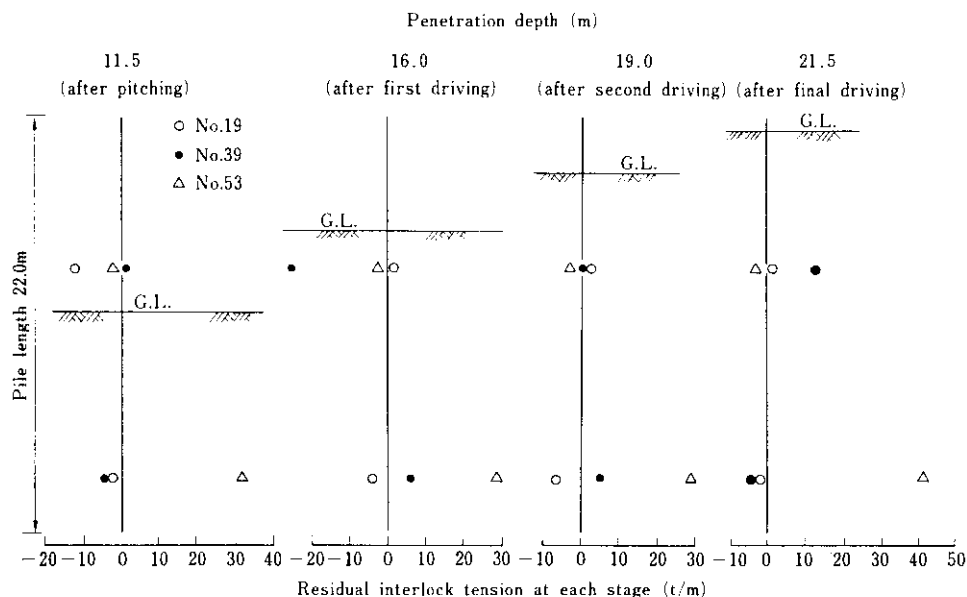


Fig. 6 Change in residual interlock tension with the progress of driving

最終打下げ終了時において 41t/m に増大した。この数値は鋼矢板セル設計時の許容矢板引張力 150t/m の約 25% に相当する。つぎに打撃軸方向の残留応力を Fig. 7 に示す。建込みや各段打下げ終

了時における残留応力は最大 -230kg/cm^2 であり、比較的小さかった。

打下げ時における動歪波形の測定例を Fig. 8 に示す。本実験では、打撃直後のパルス波がいちば

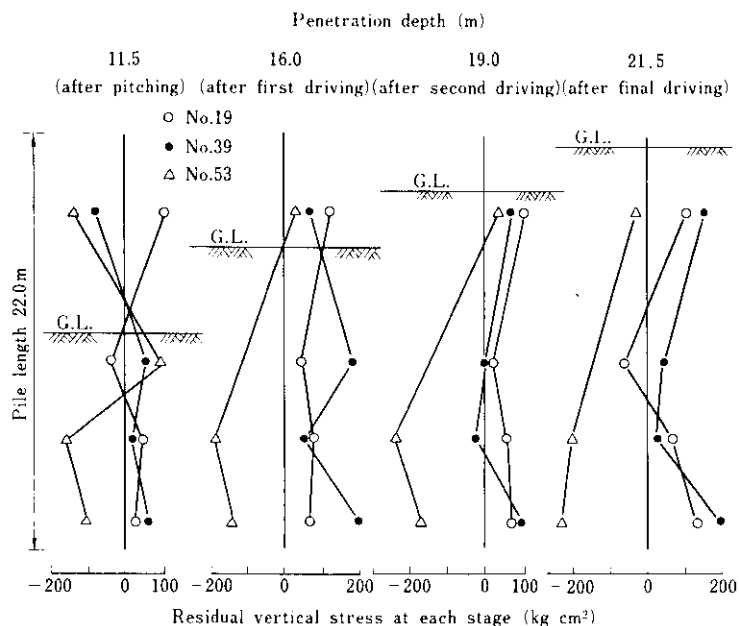


Fig. 7 Change of residual vertical stress distribution with the progress of driving

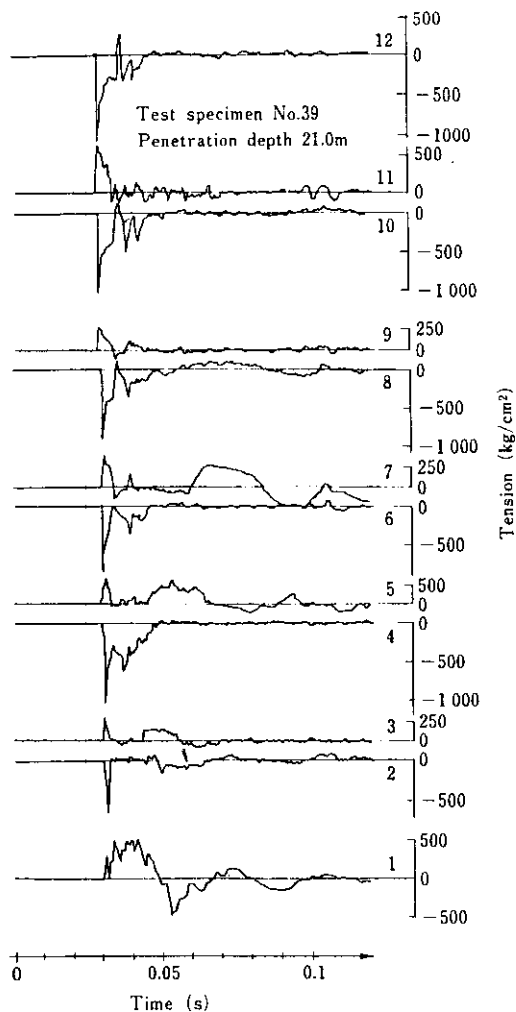


Fig. 8 An example of impact stress at each measuring point shown in Fig. 3

ん高いレベルを示したので、これを打撃時の動歪として採用した。各貫入時における打撃軸方向動的応力の分布を Fig. 9 に示す。供試体の天端から下端に行くに従い発生応力は徐々に小さくなるが、その傾向は比較的緩やかである。これは、実験場所の土質が全体に比較的軟弱なシルト層で、土による抵抗が少なかったこと、鋼矢板の形状変形や施工時の傾斜などによって生ずる爪部の接触摩擦抵抗などが少なかったことによるものと考えられる。一方、打撃時の周方向引張力を Fig. 10 に示す。Fig. 9 より打撃軸方向応力を -1000kg/cm^2 とすると、周方向引張応力はポアソン比を 0.3 として 333kg/cm^2 になる。これがすべて軸力成分であ

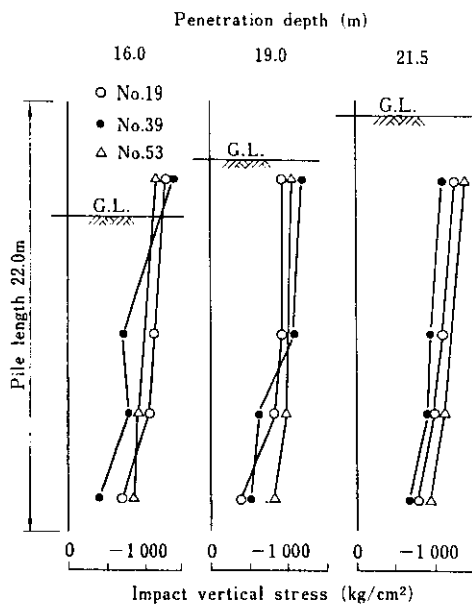


Fig. 9 Change of impact vertical stress distribution with the progress of driving

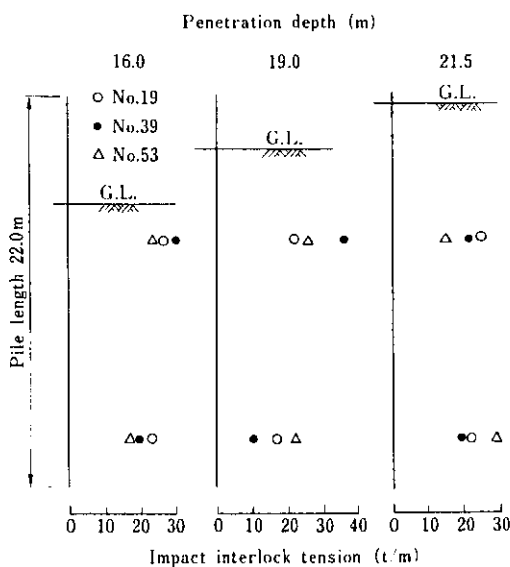


Fig. 10 Change of impact interlock tension with the progress of driving

るとすると、ウェブ厚 9.5mm を加味して引張力に換算すると 30t/m という結果を得る。Fig. 10 に示した測定結果もほぼ 30t/m 前後にばらついている。この結果より、本実験では打撃時における周方向引張力は打撃軸方向応力のほぼポアソン比分に相当する値しか作用しなかったと考えられる。

4・5 打設後の爪部離脱有無の確認

打設したすべての供試体は、打込み後の変形状態、爪離脱の有無を調査するため、2枚を1組に頭部を溶接しパイプハンマで引抜いた。Photo. 5に引抜き後の供試体先端の状況を例示する。爪部の離脱はまったく発見されず、爪部の変形や局所的な曲がり、反りも目視の範囲ではまったくなかった。

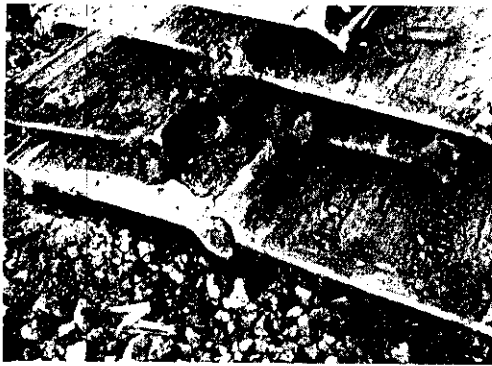


Photo. 5 View of interlocks between piles pulled out after driving test

5. 結 語

以上、KSP-Fの施工実験に関して報告した。鋼矢板の打込みにあたっては、使用する製品とそ

れを打設する技術の双方が一体となって初めてよりよい施工が可能となる。特に直線形鋼矢板を使用するときは、そのいずれが欠けても爪部離脱などを招き、思わぬ事態となるので細心の注意が要求される。直線形鋼矢板の使用される環境は千差万別であり、本実験はその一つにすぎないが、本実験より得られた成果を要約すると次のようになる。

- (1) 長さ22mという長尺なKSP-Fを比較的過酷な施工環境下で打設したが、爪部離脱もなく施工でき、今後、KSP-Fを鋼矢板セル工法や2重鋼矢板壁の間仕切り材として使用できるとの確信を得た。
- (2) 本実験がトラブルもなく施工できた背景には綿密な施工管理があった。本実験のように、断面剛性に比較して長尺の鋼矢板を施工する場合は、特に十分な施工管理が必要である。
- (3) 本実験では円形施工実験において一部の供試体に歪計を貼付し、打設後に残留した周方向引張力を測定した。その結果、最大41t/mの周方向引張力が残留するという興味あるデータが得られた。
- (4) また、打設時の周方向引張力は本実験の場合30t/m前後で、これは打撃軸方向応力のほぼポアソン比分に相当する程度であった。

直線形鋼矢板は、国内外を問わず根強い需要があると考えられる。本報が直線形鋼矢板の施工にあたって一助となれば幸いである。

参 考 文 献

- 1) 運輸省港湾技術研究所、運輸省第3港湾建設局、川崎製鉄(株)：鋼板セル試験報告書、(1966, 10月)
- 2) Gregory P. Tschebotarioff: Foundations, Retaining and Earth Structures, 2nd ed., (1973), [McGraw-Hill]
- 3) 菅野辰男：東京港廃棄物埋立護岸の建設事業、建設の機械化、(Aug., 1975) 306, 3
- 4) 日本港湾協会編：港湾構造物設計基準、(1968), [日本港湾協会]