

土留め矢板の止水向上と矢板の接合方法に関する実験的研究

An Experimental Study on Improvement of Water Sealing in Sheet Pile Joint

(株) 砂子組土木部	○正員	山元康弘 (Yasuhiro Yamamoto)
(株) 砂子組土木部	非会員	田中孝宏 (Takahiro Tanaka)
(株) 砂子組土木部	非会員	好川 敏 (Satoshi Yoshikawa)
室蘭工業大学講師	正員	栗橋祐介 (Yusuke Kurihashi)

要旨

河川内等の工事においては仮設材として土留めと止水を兼ねた綱矢板が良く用いられる。綱矢板には主にU型とハット型があり継ぎ手構造は基本的に同じであるが矢板を打つ場合と引き抜く場合の施工性を考慮して継ぎ手には $\pm 10\text{mm}$ 以上の余裕を許している。また、矢板同士の折れ角も ± 5 度程度を許容していることから土留め機能は十分あるが止水に関しては不完全になることが数多くあることから場合によっては水替えの装置にコストがかかる。

しかしながら、簡易な方法で止水対策が可能であればもう一つの利点として自立式の矢板であれば各矢板の変形が拘束されることから安全面での効果も期待できることとなる。

1. はじめに

河川橋の耐震補強や河川工事では綱矢板を仮設として利用する機会が多い。矢板の打ち込みに際してはパイプハンマーで圧入することが一般的であるが矢板での締め切り時には地質状況によって精度良く入れることが困難であるほか、挿入しやすいように継ぎ手に余裕を見ていることから土留め機能は満足するが継ぎ手から水が入り込み場合によっては工期中 24 時間水替えを行わなければならない他、土圧による矢板の変形を常時観測しなければならない。止水機能だけであればウレタン発泡剤を使うこともあるが仮設としては矢板引き抜き時には多大な労力を要することからこれを用いる時のリスクは大きい。

このことから、矢板を打ち込んで掘削を行いながら矢板の連結が可能で、引き抜く際には連結治具を外せば通常の引き抜きが可能なが現場にとっては望ましい。このために、今回簡易な治具を施し止水、連結効果を試みた。

2. 綱矢板の継ぎ手の余裕と回転拘束

図-1 示したものが継ぎ手の形状と寸法である。図から見て取れるものは曲線の芯が5つあり余裕白が $\pm 10\text{mm}$ あることから回転については非常に複雑となる。幾何学的に回転奇跡を求めることは難しいことから継ぎ手互いに寄り合っている中での回転と、離れあっている場合の回転の4ケースを最大移動範囲とする。これらを示したものが写真-1 である。置き換えて言えばどの場所を拘束すると矢板の継ぎ手に関して止水と連結効果が出るか知ることがわかると考えられる。

F S P - 3 型

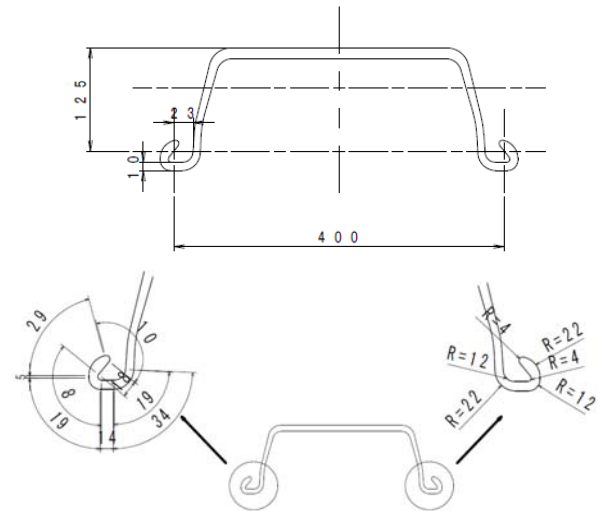


図-1

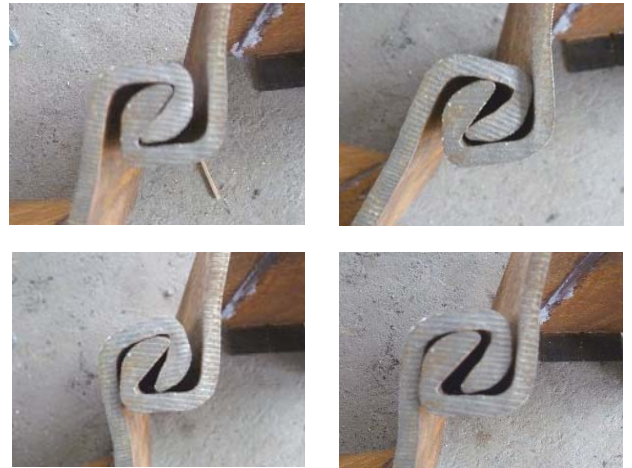


写真-1

写真-1 をもとにして実際の形状を示したものが写真-2 で写真の左は右回りの角度が最大のもので -1.35 度、真ん中の写真が矢板同士を押しつけた状態、写真の右が左回りの角度が最大のもので $+3.25$ 度である。写真から見て取れることは継ぎ手自体にかなりの余裕があることである。この余裕がないと矢板をスムーズに打ち込めない一方、止水機能が低下する一要因になっていると考えられる。



写真-2

写真-3 はそれぞれの継ぎ手に回転を拘束する鉄板を矢板同士の間挟み込んだものである。

すなわち、矢板を打ち込んだ後に、矢板同士の接合部に某かの楔を打ち込めれば半接合状態になり止水効果が期待でき、さらに打ち込んだ矢板の接合部が回転拘束されることから異方性を伴うが一枚の板効果も期待できることである。このことから写真-3 のように継ぎ手の隙間に板を入れて回転拘束し写真-2 左端に示したとおり矢板の中央をジャッキであげ荷重と回転角度を示したものが図-2 である。10 KN 掛けたときのたわみ角度は2度程度で十分回転を拘束が得られたと考えられる。その疑似的な剛性は、7 KN で折れ角度が3度であることから 0.0024 rad/KN である。また勾配が弾性比例していることから接合部は矢板の板部と同じ断面剛性を有していると考えられる。



写真-3

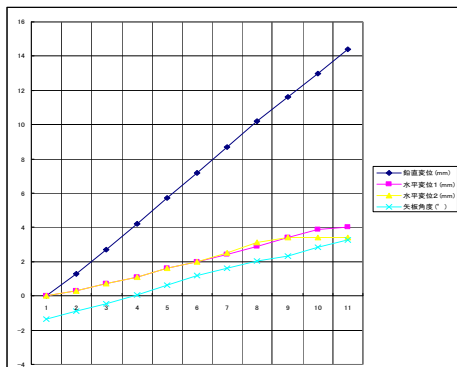


図-2

以上を踏まえて、写真-4 に示すように2点支持とし矢板3枚を連結し中央に5KNまで載荷した場合の過重-変位(中央)曲線を図-3-1、2に示す。



写真-4

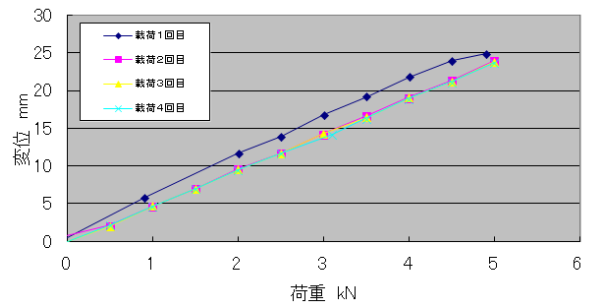


図-3-1 (接続部フリー)

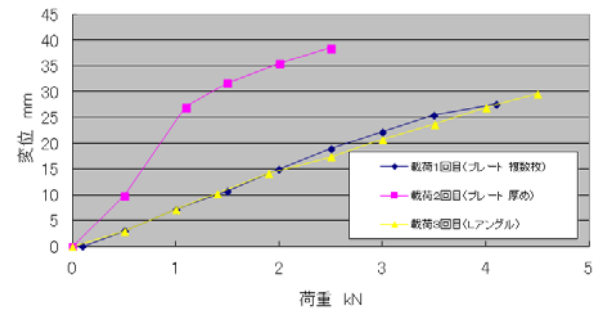


図-3-2 (接続部固定)

図-3-1 は矢板の接合をフリーにした状態で中央に5KNまで載荷した場合の荷重-変位曲線である。一回目は接合部に隙間があるため比較的大きくなっているが5KN載荷した時点で接合部はある程度かみ合った状況になったと推測される。二回目以降は載荷-変位曲線は安定して再現性がある。この図から見て取れるのは1KNかけた時点で接合部のかみ合いは終了しているようにも見て取れる。

一方、図-3-2は、接合部に連結効果を期待したケースである。図では3種類の連結効果を見込んだ材料を使用した。結果的にはどの部材を入れても剛性を増す結果にはなっていない。これは片持ち梁の状況とは異なった結果であるが、原因としては左右の支点を拘束しなかったためと考えられる。この結果から評価を見直すこととした。

図-4は、ロープや電線などの両端を持って垂らした

ときにできるカテナリー曲線である。矢板の自然たわみにこれを適用したのは、無限に矢板を繋いで両端を持ち上げたとき矢板同士はヒンジで結ばれることから一種のチェーンと見なすことができると考えた故である。しかしながら、矢板同士の回転角度は±5 度程度しか許容できないことと接合部の余裕長が 10mm と決まっているためたわみ時の総延長は矢板の幅に矢板の枚数×10mm 以内とする必要がある。このことから、以下のカテナリー曲線の式に係数を掛けることとした。

$$y = \frac{e^x + e^{-x}}{2} \Rightarrow \bar{y} = \frac{e^x + e^{-x}}{2} * \alpha$$

αは実際に適用する際物理的に制約されるための係数
 図-4 の制約条件は、矢板幅 40cm, 継ぎ手余裕 10mm、お互いの折れ角度±5 度以内である。

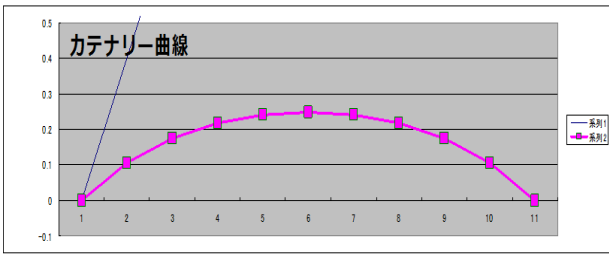


図-4

条件は曲線の長さが 40cm×10 枚+1cm×10カ所=410cm 以下である。このための α は 0.09 で最大たわみは約 25cm である。このたわみになるための鋼板の諸元は以下の通りである。

幅	500	mm
厚さ	6	mm
断面 2 次	9000	N/mm4
重量	94.2	Kg

一方で、矢板の厚さが 10mm であり 50cm の幅の自重によるたわみは 14cm である。たわみが 14cm となるカテナリー曲線は図-5 で換算 α は 0.05 となる。

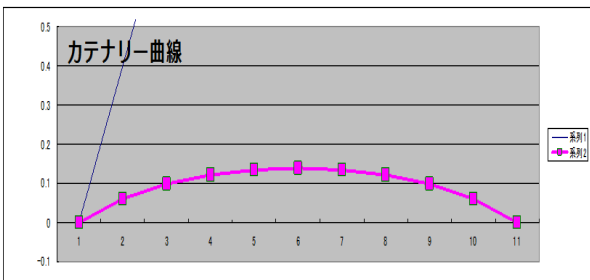


図-5

この時の板の諸元は以下のとおりで 3 倍の剛性を有することとなる。

幅	500	mm
厚さ	10.5	mm
断面 2 次	48234	N/mm4
重量	164	kg

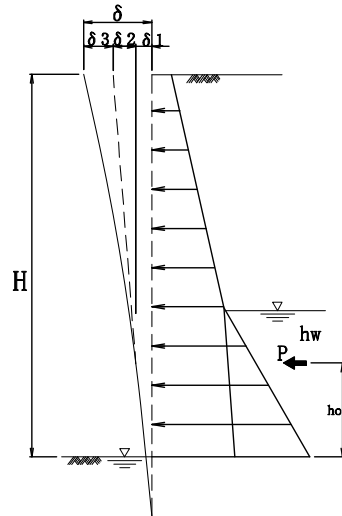
以上のことから矢板継ぎ手を適切な方法で回転拘束をすれば、見かけの断面 2 次モーメントは 5 倍程度となる。一般に、自立矢板の計算を行う場合継ぎ手効率を実験等から 0.8~0.85 にしているが、このような方法を施すことによって効率を 1.0 にすることが可能となる。以下に自立矢板の計算結果を示す。

自立式土留め壁頭部の変位量は、次の式により計算する。

$$\delta = \delta 1 + \delta 2 + \delta 3$$

ここに

- δ : 土留め壁頭部の変位量
- δ 1 : 掘削底面での変位量
- δ 2 : 掘削底面でのたわみ角による変位量
- δ 3 : 掘削底面以上の片持ち梁にのたわみ



- 剛性率 (I に関して) 100% (Chang 式根入れ計算時)
- 剛性率 (I に関して) 100% (断面力・変位計算時)
- 剛性率 (Z に関して) 100%

断面 2 次 9000 N/mm4

土留め壁(地盤面)での変位量

18.370

矢板長さ

$$L = 2.800 + 3.436 + 0.000 = 6.236 \text{ m}$$

矢板全長

よって、矢板全長は 6.50 m となる。

断面 2次 48234 N/mm⁴

土留め壁(地盤面)での変位量 5.793

矢板長さ

$L = 2.800 + 5.228 + 0.000 = 8.028 \text{ m}$

矢板全長

よって、矢板全長は 8.50 mとなる。

3. 止水性能確認試験

継手模型による漏水量測定試験

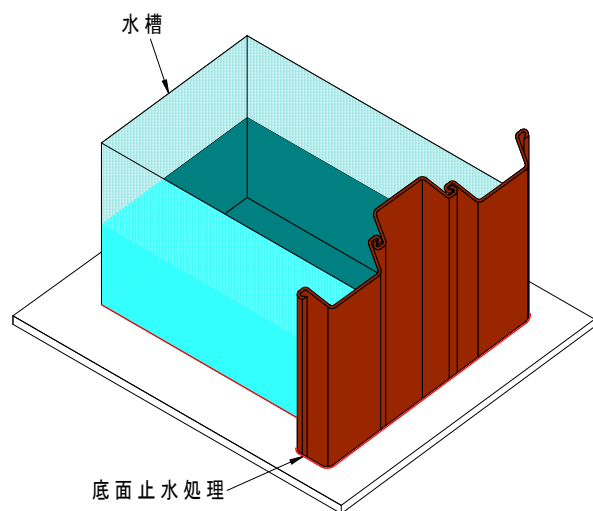
継手の止水性能の評価方法として図1に示す装置で漏水量の経時変化を把握し、漏水量を計測した。

結果は、20Lの水が失われるまでの時間が 1分45秒であった。

一方、適切な治具を施すと漏水は確認できない。

遮水壁が遮水工の要求性能を満足することが確認された。

L=1200 W=1000 H=200



治具あり



治具無し



4-2 実験結果と考察

終わりに

1で述べたものをシミュレートするにあたっては写真の矢板を図-3に示すようにモデル化しカンチレバーの境界条件で計算を行うのが合理的と考えられる。また、荷重は自重のみとする。以下に、計算条件として考え得る項目を列挙する。

- 1) 矢板の継ぎ手の各所に錆等による断面欠損が生じるケース
- 2) 継ぎ手同士に余裕があることから継ぎ手のタッチ要素にスライダーを考慮するケース
- 3) 継ぎ手の回転拘束のためのくさびの形状と作用方向・位置を決定するケースである。

5. まとめ

1) 止水性能は、室内での漏水量測定試験において止水性能確認試験を行い、少しの力で止水効果を発揮できることを確認した。

6. 終わりに

この実験に関し、室蘭工業大学講師 小室博士、寒地土木研究所の佐藤上席研究員、構造チームの佐藤、角間研究員、さらには解析においては構研エンジニアリングの小林、保木氏に多大な協力を頂いた。ここに謹んで感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 百科事典『ウィキペディア』熱伝達率 定義
<http://ja.wikipedia.org/wiki/%E7%86%B1%E4%BC%9D%E9%81%94%E7%8E%87>