
鋼製土留壁「Kドメール」

H-Shaped Steel Sheet Piling "K-Domeru"

石沢 毅 (Takeshi Ishizawa) 三浦 聡 (Satoshi Miura) 篠原 雅樹 (Masaki Shinohara) 城 郁夫 (Ikuo Jo) 森川 孝義 (Takayoshi Morikawa) 田中 祐人 (Sachito Tanaka)

要旨：

川崎製鉄では、壁体の薄肉化、低振動・低騒音や狭い場所での山留施工等の要求に対応するために、H形状の鋼製土留壁「Kドメール」を商品化した。商品化にあたり以下について確認した。(1)縦継ぎ部の曲げ耐力は載荷試験によると設計値以上である。(2)施工は、施工条件により、バイブロハンマー工法、自走式圧入工法、オーガ併用圧入工法が選定できる。(3)オーガ併用の圧入工法で施工したKドメール壁体の変位は、首都高速道路公団の基準に準拠した地盤反力係数を用いて計算できる。(4)ドメールの両フランジ間の閉合部が空洞の状態での止水性は鋼矢板並みで、空洞部に土砂を埋め戻すことで止水性が格段に向上する。首都高速室町付近拡幅工事では、小型圧入機による施工を行うことによって厳しい工事環境への適用性を、また、荒川内の常磐線旧橋脚撤去工事の仮締め切り工事では、十分な止水性が確認できた。

Synopsis：

Kawasaki Steel has commercialized H-shaped steel sheet piling trade-named K-Domeru to meet the needs for constructing thin-section walls, and for pile driving with low vibration and noise and for piling in narrow excavation sites. The following have been confirmed: (1) The bending strength of vertical joints of K-Domeru from load tests is larger than the designed value, (2) the optimum method of driving K-Domeru for work condition can be selected among the methods of driving by a vibratory hammer, by a compact pile jacking machine, or by pile jacking machine with an earth auger, (3) displacement of a K-Domerus wall driven by a pile jacking machine with an earth auger can be calculated, using the coefficient of the subgrade reaction in the Regulations of Metropolitan Expressway, and (4) permeability through the k-Domerus wall is close to that through steel sheet piles, when the closed space between a pair of flanges of K-Domeru is empty, and by filling the space with sediment, the permeability has been greatly improved. In widening the Metropolitan Expressway at Takaracho, it was confirmed that K-Domeru was capable of being applied to difficult environment of construction using a compact pile jacking machine. In coffering construction to remove

the existing foundation of the Joban Railway Line at the Arakawa River, K-Domeru provided adequate watertightness.

(c)JFE Steel Corporation, 2003

本文は次のページから閲覧できます。

H-Shaped Steel Sheet Piling “K-Domeru”



石沢 毅
Takeshi Ishizawa
エンジニアリング事業
部 建材技術部



三浦 聡
Satoshi Miura
エンジニアリング事業
部 建材技術部



篠原 雅樹
Masaki Shinohara
エンジニアリング事業
部 建材技術部



城 郁夫
Ikuo Jo
エンジニアリング事業
部 建材技術部 主査
(部長補)



森川 孝義
Takayoshi Morikawa
エンジニアリング事業
部 建材技術部 主査
(課長)



田中 祐人
Sachito Tanaka
エンジニアリング事業
部 鋼構造研究所 主任
研究員(樹長)

1 はじめに

近年、大都市においては過密化が加速し、土地や空間の有効活用に対する要求は切実なものとなってきている。特に、地下空間の利用については、各方面から多くのアイデアが発表され注目を集めている。より現実的なものとしては、最近の自動車交通量の増加に伴う駐車場不足の対策として、地下部を有する立体駐車場や道路下の地下駐車場の建設計画が進められている。また、土地や空間の有効活用を余儀なくされるものとして、敷地が狭小な中小建築物、都市部における半地下道路、既存道路下や既存の駅舎部に建設される地下鉄道、後背地のない都市河川護岸などがあり、その事例は数多い。

このような地下空間を対象とする建設工事の増加にともない、土留壁工法がさらに重要視されるようになってきた。

土留壁工法としては、鋼矢板や鋼管矢板などを使用した鋼製土留壁工法と、ソイルセメント柱列壁やRC連続地中壁などのコンクリート系の土留壁工法に大別されるが、都市部においては、騒音・振動に対する規制が厳しいため、コンクリート系の土留壁工法が多

要旨

川崎製鉄では、壁体の薄肉化、低振動・低騒音や狭い場所での山留施工等の要求に対応するために、H形状の鋼製土留壁「Kドメール」を商品化した。商品化にあたり以下について確認した。(1) 縦継ぎ部の曲げ耐力は載荷試験によると設計値以上である。(2) 施工は、施工条件により、バイプロハンマー工法、自走式圧入工法、オーガ併用圧入工法が選定できる。(3) オーガ併用の圧入工法で施工したKドメール壁体の変位は、首都高速道路公団の基準に準拠した地盤反力係数を用いて計算できる。(4) ドメールの両フランジ間の閉合部が空洞の状態での止水性は鋼矢板並みで、空洞部に土砂を埋め戻すことで止水性が格段に向上する。

首都高速宝町付近拡幅工事では、小型圧入機による施工を行うことによって厳しい工事環境への適用性を、また、荒川内の常磐線旧橋脚撤去工事の仮締め切り工事では、十分な止水性が確認できた。

Synopsis:

Kawasaki Steel has commercialized H-shaped steel sheet piling trade-named K-Domeru to meet the needs for constructing thin-section walls, and for pile driving with low vibration and noise and for piling in narrow excavation sites. The following have been confirmed: (1) The bending strength of vertical joints of K-Domeru from load tests is larger than the designed value, (2) the optimum method of driving K-Domeru for work condition can be selected among the methods of driving by a vibratory hammer, by a compact pile jacking machine, or by pile jacking machine with an earth auger, (3) displacement of a K-Domerus wall driven by a pile jacking machine with an earth auger can be calculated, using the coefficient of the subgrade reaction in the Regulations of Metropolitan Expressway, and (4) permeability through the K-Domerus wall is close to that through steel sheet piles, when the closed space between a pair of flanges of K-Domeru is empty, and by filling the space with sediment, the permeability has been greatly improved.

In widening the Metropolitan Expressway at Takaracho, it was confirmed that K-Domeru was capable of being applied to difficult environment of construction using a compact pile jacking machine. In coffering construction to remove the existing foundation of the Joban Railway Line at the Arakawa River, K-Domeru provided adequate watertightness.

されている。

最近では、騒音・振動に対する要求に加えて、土地を有効に活用するため、さらにいくつかの条件が求められるようになってきた。壁体の機能としては、壁厚が薄くて高い剛性を有していることである。また施工性の面からは、狭い場所での施工可能なこと、上方空間に制限のある場所で施工可能なこと、急速施工が可能などである。

* 平成4年4月7日原稿受付

しかし、このような条件をすべて満足することは既存の製品、工法では困難であった。そこで、川崎製鉄では、これらの土留壁に対する要求に答え得るものとして、溶接組立加工によるH形状の鋼製土留壁（商品名 K ドメール）を開発した。

本論文は、K ドメールの特徴、各種試験結果および施工事例について概要を紹介する。

2 鋼製土留壁工法

近年、土地の有効利用に対する要求が顕著になってきており、地下空間の利用技術と高度な建設技術が求められている。

従来から、比較的掘削深さの大きな土留壁工法としては、RC 連続地中壁工法がしばしば利用されている。本工法は我が国へ導入されて以来、低振動・低騒音工法であること、周辺地盤への影響が小さく近接施工に適すること、剛性が大きく土留壁として変形が小さいこと、などの優れた特長をもつことから、都市部での土留壁工事を中心に発展してきている。しかし、壁体の構築にともなう鉄筋工事やコンクリート工事などにおいては、鉄筋籠の製作のためのヤードが広くいることや、運搬・建て込みなどの作業に手間取るなどの指摘もある。

これらのことから、従来工法に求められる省スペース化、省力化などの要請に対する改善策として、鋼製地中壁工法が着目されている。本工法は、あらかじめ工場製作した鋼製建材を地中に挿入することによって連続壁を構築するものであり、工場製作の特長から、現場における組み立て、建て込みなどの作業の軽減と、壁体の品質信頼性を向上させることができる。

このような鋼製建材は既存の鋼矢板や鋼管矢板など各種考えられるが、このほど開発した鋼製土留壁K ドメールは、H形断面を有する鋼製建材であり、その形状からくる特性を活かして、壁体の重要な要素である曲げ剛性を効果的に発現することができる。一方、施工法の観点からは、既存の杭や矢板の施工技術を応用することができるため、低振動・低騒音の施工が可能であることはもとより、小型の圧入機によって狭い場所や上方空間に制限のある場所でも施工が可能である。

3 鋼製土留壁 K ドメール

3.1 製品概要

K ドメールは鋼矢板セル工法に用いられる直線形鋼矢板と厚板または CT 形鋼を溶接加工によって組み合わせた鋼製土留壁である。K ドメールの形状には Fig. 1 に示す両爪タイプと片爪タイプの2種類のタイプがある。

Fig. 2 はU形鋼矢板壁、ソイル柱列壁およびK ドメール壁の断面2次モーメントと壁厚との関係を示している。

また、K ドメールの材質については Table 1 に示す川鉄規格 KD400 または KD490 として規定する。特に化学成分は溶接性を考

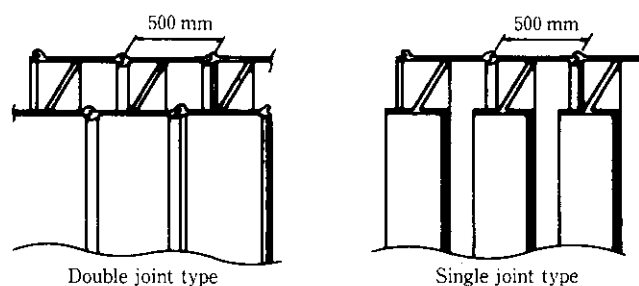


Fig. 1 Form of K-Domeru

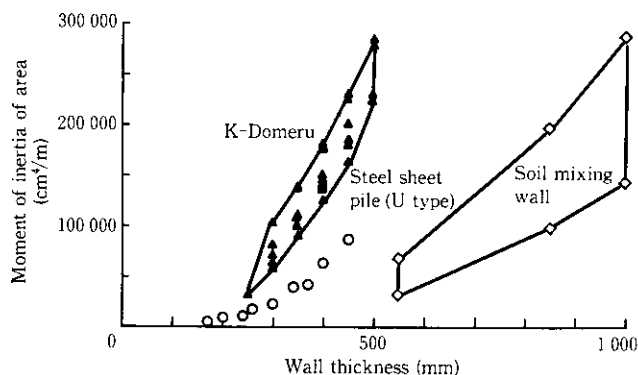


Fig. 2 Relationship between wall thickness and moment of inertia of area

慮して、JIS G3106（溶接構造用圧延鋼材）の規格を満足する選定を行っている。

K ドメールの特徴をまとめると以下のとおりである。

- (1) 壁幅は小さいが優れた断面性能を有しているため土地の有効利用が可能である。
- (2) ウェブに用いている厚板や CT 形鋼のサイズを変えることによってサイズフリーの断面設計が可能である。
- (3) バイプロハンマーによる打設はもちろん、コンパクトな圧入機による打設もできるので、低振動・低騒音での施工や上方および水平空間の制限のある作業空間でも施工が可能である。
- (4) 両爪タイプは壁面が二重構造なので、止水性の向上を図れる。
- (5) 片爪タイプは仕上がり平面での曲線施工が可能である。

3.2 縦継ぎ部の強度

都市部の工事では路下部や周辺への影響を考慮して上方空間に制限のある施工を多々要求されている。K ドメールは、現場での縦継ぎを行うことにより上方空間に制限のある場所での施工を可能としている。当社では、母材ならびに縦継ぎ部の耐力を確認する確信試験を行った。

Table 1 Specifications of K-Domeru

KSC standard	Chemical composition (%)					Tension test		
	C	Si	Mn	P	S	Yield point (N/mm ²)	Tensile strength (N/mm ²)	Elongation (%)
KD 400	≤0.23	—	—	≤0.035	≤0.035	≥245	400~510	≥18
KD 490	≤0.20	≤0.55	≤1.60	≤0.035	≤0.035	≥325	490~610	≥17

3.2.1 実験方法

試験は Fig. 3 の左上に示すように、200 t 載荷試験機を使用して、支間長は 8.4 m、載荷間隔を 3.0 m の 2 点集中載荷曲げ試験を実施した。

試験に用いる供試体として、継手のない K ドメール本体 (Type 1) と継手を有するもの (Type 2~Type 4) を製作した。各種継手は、(1) 式の α を 0.75 (Type 2) あるいは 1.0 (Type 3 および Type 4) に設定した設計曲げモーメントで、補強プレートのサイズや溶接長が設計されている。

$$M = \alpha \sigma_s Z \quad \dots\dots\dots (1)$$

M : 設計に用いる曲げモーメント

σ_s : 短期許容曲げ応力度

Z : K ドメールの断面係数

α : 全強との比

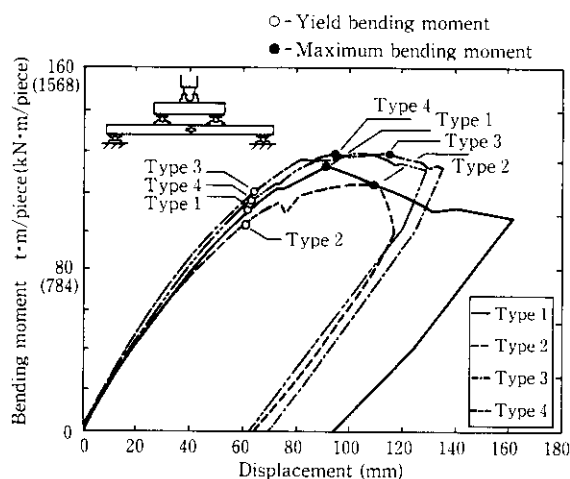


Fig. 3 Relationship between displacement and bending moment

設計された継手の仕様を Fig. 4 に示す。Type 2 ならびに Type 3 は、溶接部はすべて現場溶接仕様になっており、Type 4 については、フランジ部にあらかじめ補強プレートを工場溶接しておき、現場での溶接長を短く作業性の向上を目的とした継手方式である。

3.2.2 試験結果

Fig. 3 に、載荷重より換算した継手部に作用する曲げモーメントと継手位置の変位の関係を示す。また Table 2 に、Fig. 3 の曲線の両対数グラフの折れ点から定義した降伏時の曲げモーメントと最大曲げモーメントの結果を設計に用いた曲げモーメントと比較したものを示す。これより、以下の知見を得た。

(1) おおのこのタイプの降伏時の曲げモーメントは、設計に用い

Table 2 Comparison of bending moment between test results and design values

Type	Test result				Design	Shape of destruction
	Yield bending moment t·m/piece (kN·m/piece)	Ratio to type 1	Maximum bending moment t·m/piece (kN·m/piece)	Ratio to type 1	Bending moment t·m/piece (kN·m/piece)	
1	109.8 (1076.0)	—	132.4 (1297.5)	—	84.1 (824.2)	Buckling of compressive flange
2	103.8 (1017.2)	94.5%	125.0 (1225.0)	94.4%	65.0 (637.0)	Destruction of welding area of tension flange
3	119.1 (1167.2)	108.5%	138.1 (1353.4)	104.3%	77.9 (763.4)	Buckling of compressive flange
4	114.9 (1126.0)	104.7%	138.6 (1358.3)	104.7%	88.7 (869.3)	Buckling of compressive flange

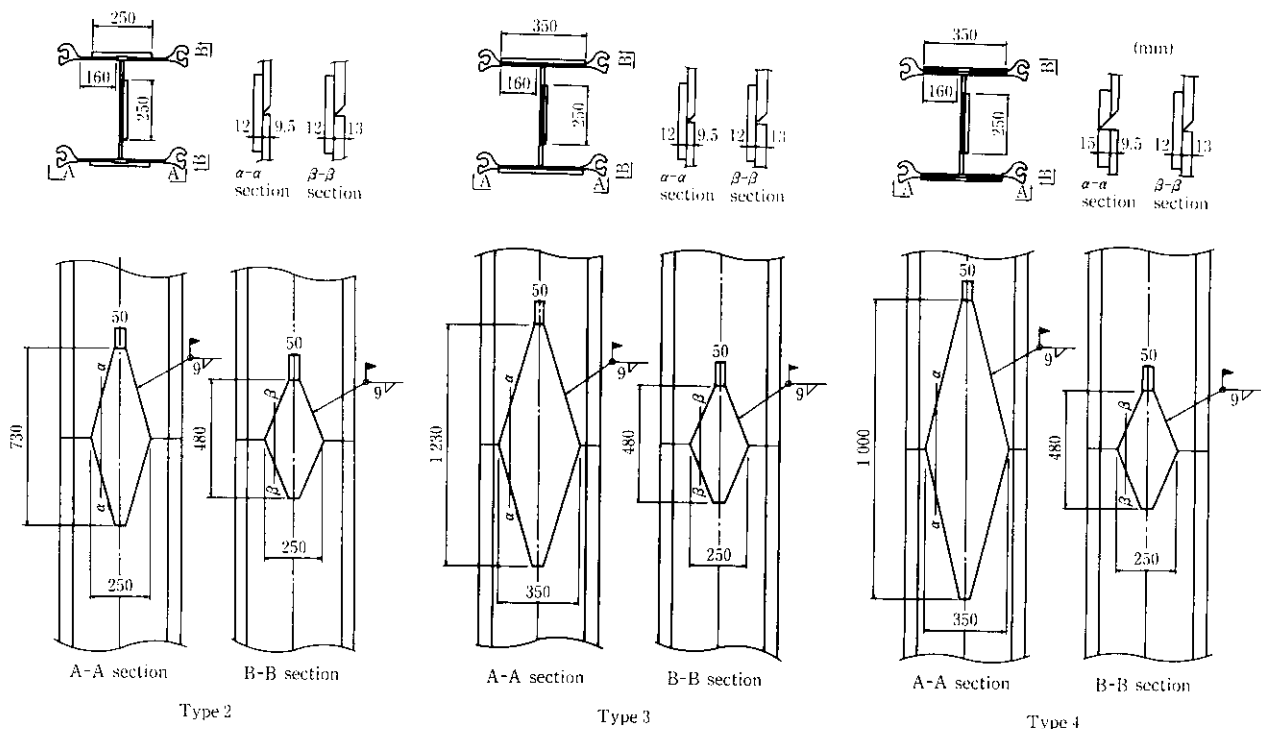


Fig. 4 Design drawing of reinforcement of vertical joints

た曲げモーメント以上の値である。

- (2) 全強で設計された試験体 Type 3 および 4 の降伏時の曲げモーメントおよび最大曲げモーメントは、共に Type 1 の Kドメル本体以上である。
- (3) おおのこのタイプの荷重変位曲線の初期勾配を母材と比較するとほぼ等しく、変形能（曲げ剛性 EI ）に差はないと考えられる。

本試験では、母材の十分な耐力ならびに縦継ぎ部の設計値以上の耐力が確認された。また、Type 4 についてもその設計耐力を満足する結果であった。

3.3 施工法

Kドメルは、都市土木で使われることが多いと予想されるため、低騒音・低振動工法によって施工できることが不可欠である。また、プロジェクトによっては、現場の地盤状況、経済性、施工スペース、住宅との距離などを考慮して最適な工法が選定される。そこで、Kドメルの打設工法の選択の幅を広げるため、以下に示す各種工法により施工試験を実施した。

3.3.1 バイプロハンマー工法

バイプロハンマー工法は、施工の簡易性、地盤特性に対する適用幅の広さ、経済性などに優れているため、鋼矢板の打設で一般的に用いられている。住宅等がある程度離れた現場では、非常に有力である。

Kドメルは、鋼矢板に比べ断面積が大きいことから、鋼矢板に比べ貫入性が多少劣るが、施工試験により、平均 N 値 30 程度の固い砂地盤においても、水ジェットを併用することにより 60 kW のバイプロハンマーでスムーズに施工できることが確認できた。

また、住宅等が比較的近い場合には、周波数をコントロールできる油圧バイプロハンマーにより、比較的振動および騒音を低減できる。施工試験では、最大加振力 25 t の油圧バイプロハンマーと水ジェット併用で打設を行った際、打設地点より 10 m 離れた箇所で、騒音 66 dB、振動 68 dB（いずれも平均）が得られた。騒音・振動規制法では騒音の規制は、敷地境界線から 30 m 地点で 85 dB、振動の規制は敷地境界において 75 dB となっており、これらの値をいずれもクリアできた。

3.3.2 自走式圧入工法

圧入工法は、騒音と振動がほとんど無い工法として、都市部の杭や矢板の施工に多く用いられている。特に鋼矢板の施工の場合、自走式の圧入機の使用により、狭い敷地内でも施工が可能になる。これは、Fig. 5 に示すように、既に打設した鋼矢板数枚を反力にして圧入を行う機構であり¹²⁾、以下の長所を有している。

- (1) 打設された鋼矢板の引抜き抵抗が十分であれば、最大 130 t の非常に大きな圧入荷重をかけることができる。

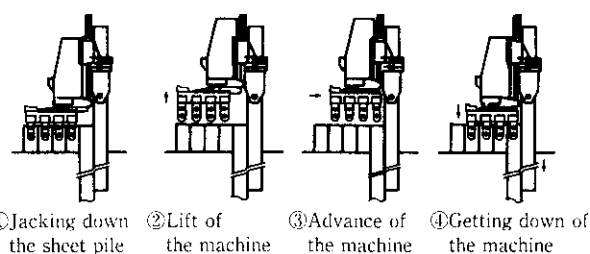


Fig. 5 Procedure of pile driving with the compact pile jacking machine

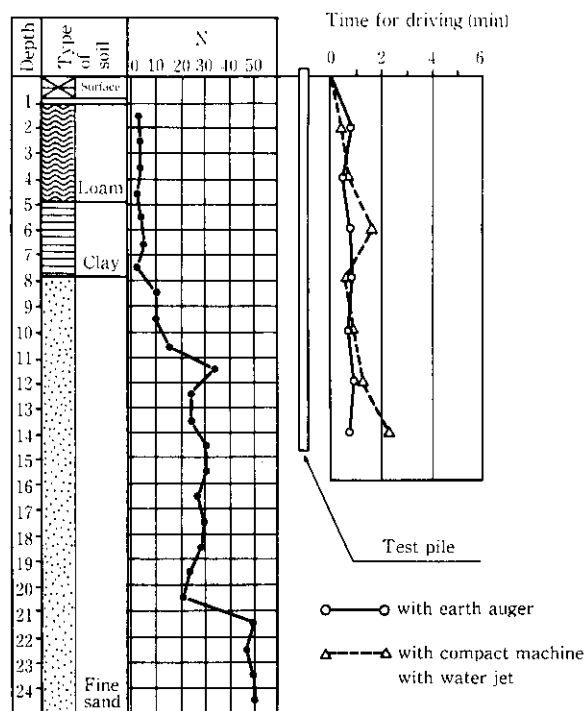


Fig. 6 Time for driving K-Domeru by pile jacking machine

- (2) 鋼矢板法線上を自走するため、3点式杭打ち機に必要なベースマシンやリーダーが不要であり、狭いスペースでの施工、上方空間の制限のある施工、昼間に施工機械を置いたままでも交通の妨害にならないことが要求される夜間施工などに極めて有効である。

平均 N 値 30 程度の砂地盤における施工試験では、Fig. 6 に示すように水ジェットを併用することにより打設が可能になることが確認できた。

3.3.3 オーガ併用圧入工法

都市部の杭の打設では、オーガによる中掘工法が多く用いられているが、矢板においてもオーガ併用圧入工法が応用されることがある。この工法は、硬質の砂地盤のみならず砂礫や土丹等にも有効なので、適用範囲が広い。

ベースマシンに約 30 m のリーダーを取り付けた3点式杭打ち機とアースオーガにより施工試験を行った。この方法により、Fig. 6 に示すような N 値 50 以上の砂質地盤に、長さ 15 m および 24 m の Kドメルを打設することができた。打設状況を Photo 1 に示す。

3.3.4 各種工法の選定法

上記より、プロジェクトにおいては、以下の点に留意して工法選定を行う必要がある。

- (1) 騒音と振動が制約にならない現場では、バイプロハンマーによる施工が経済的である。また、油圧式バイプロハンマーの使用により、騒音と振動を低くすることができる。
- (2) 施工スペースや上方空間に制限のある場合は、自走式圧入機の使用が有効である。打設地盤によっては、水ジェットの併用が必要となる。
- (3) 騒音と振動の規制が厳しく、しかも打設地盤の非常に固いところでは、オーガ併用圧入工法が有効である。しかしながら、ベースマシンやリーダーを使用することにより、比較的広い施工スペースが必要になる。

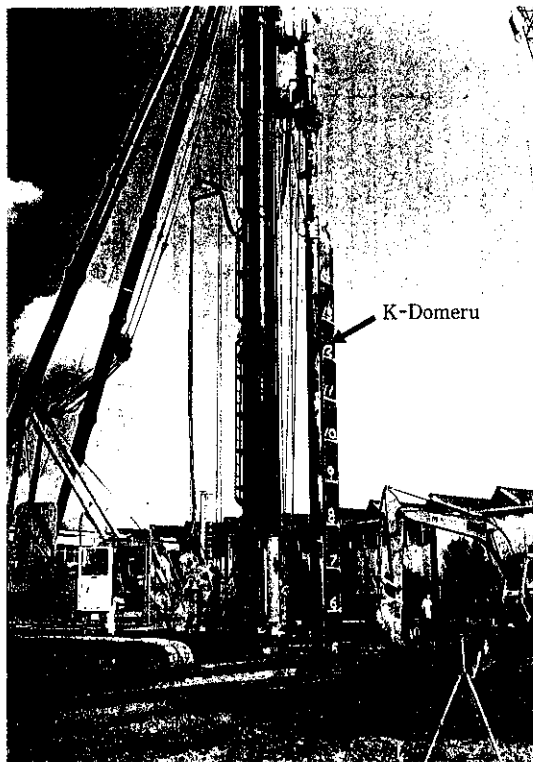


Photo 1 Driving work of K-Domeru with pile jacking machine with earth auger

3.4 壁体の変位

鋼製土留壁の施工性および力学特性を調査するため、Fig. 7 に示す仮設ピットを構築した。この鋼製壁体は、オーガ併用圧入工法で施工された。

この壁体の掘削時の力学的挙動を把握するため、変位および応力測定を行った。変位は挿入式傾斜計により測定した壁体の傾斜を積分して求めた。このようにして求めた変位と土質調査により設定した土質定数から求められる計算値（設計値）との比較を行い、オーガで地盤を乱した場合の地盤反力係数の評価法に対する検討を行った。

3.4.1 計算モデルおよび地盤定数

計算モデルは、通常の壁体解析をおこなうような平面歪み問題ではなく、ピットのコーナー部の拘束効果を表現するため、Fig. 8 に示すような3次元骨組みモデルを用いた。具体的には、以下の点が考慮されている。

- (1) 2方向版の挙動を表現するため、H形断面の強軸まわりの曲げ剛性を有する縦方向の梁部材と、壁体の横方向剛性を考慮した横方向の梁部材で骨組みを構成した。
- (2) 作用荷重は掘削底面より上の土圧とした。土圧は、首都高速道路公団の仮設構造物設計基準に準拠し、掘削部の粘性土の N 値から土圧係数 0.4 の側圧を採用した。
- (3) 施工段階ごとの挙動変化は、各掘削時の荷重（土圧）の増分による変位や応力を前の施工段階と重ね合わせて求めた。
- (4) 根入れ部の地盤反力係数は、首都高速道路公団の仮設構造物設計基準³⁾に準拠し、粘性土地盤の3軸試験による変形係数および砂地盤の N 値から、(2)式および(3)式を用いて算出した。

$$K_H = K_{H0} \left(\frac{B_H}{30} \right)^{-3/4} \quad \text{.....(2)}$$

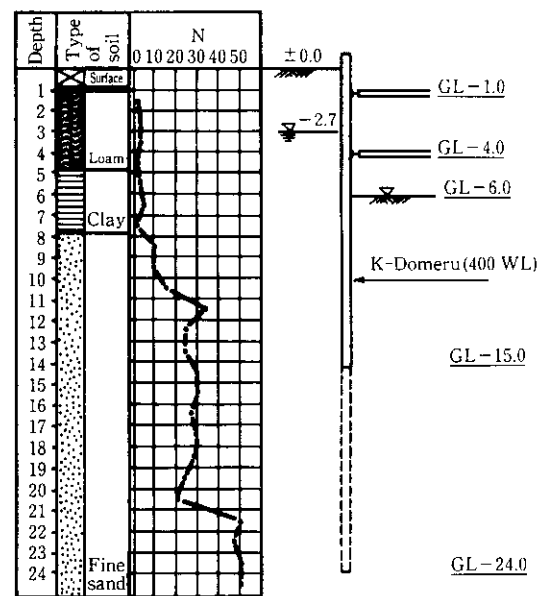
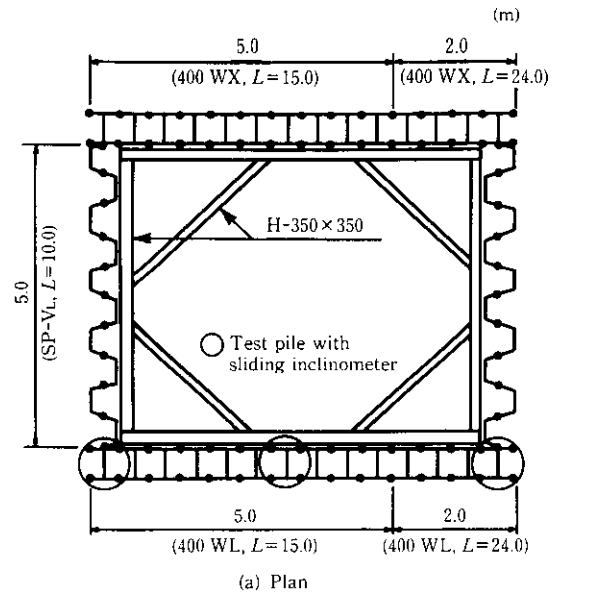


Fig. 7 Temporary pit enclosed with the K-Domerus wall

$$K_{H0} = \frac{1}{30} \alpha E_0 \quad \text{.....(3)}$$

K_H : 横方向地盤反力係数 (kgf/cm³)

K_{H0} : 直径 30 cm の剛体円盤による平板載荷試験の値に相当する横方向地盤反力係数。各種土質試験・調査により求めた変形係数から推定する場合は、(3)式により求める。

B_H : 荷重作用方向に直交する基礎の換算載荷幅。一般に、 $B_H = 1000$ cm としてよい。

E_0 : 設計の対象とする位置での地盤の変形係数 (kgf/cm²) で、Table 3 に示す方法で測定または推定される。

α : 地盤反力係数の推定に用いる係数で、Table 3 による。

- (5) コーナー部の拘束効果および切梁の拘束効果は、バネ支承で表現した。

- (6) Fig. 9 に示す変位の測定値をみると、1次掘削終了時は変位が非常に小さく、2次掘削終了時において1段目切梁の位置の

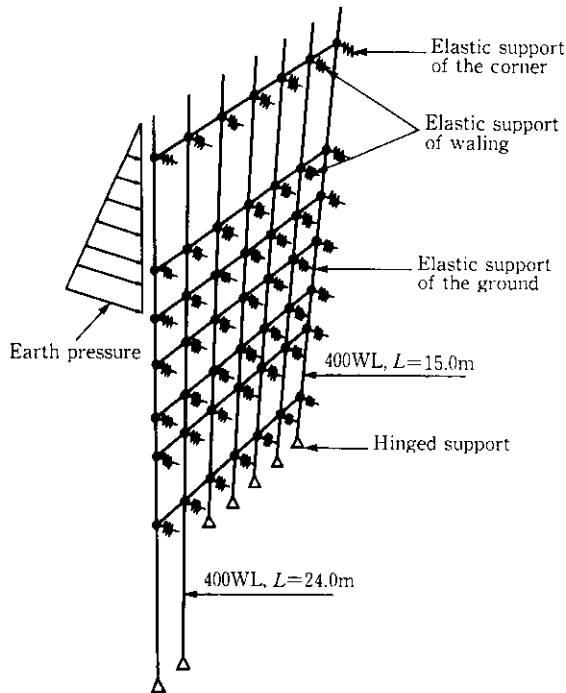


Fig. 8 Analysis model of displacement of the K-Domerus wall

Table 3 Relationship between the modulus of deformation of the ground, E_0 and coefficient to estimate coefficient of the subgrade reaction, α

The method of the test for the modulus of deformation of the ground, E_0	α
Half value of the modulus of deformation from the plate bearing test by the rapid plate of 30 cm diameter	1
Measured value in the boring hole	4
Unconfined compression test or triaxial compression test of the test sample	4
Estimation from the formula $E_0=28N$ (N : N -value from standard penetration test)	1

変位が大きく増加していることから、1段目切梁は2次掘削終了まではその効果を発揮していないことがわかる。また、最終掘削時には切梁位置の変位は2次掘削終了時とほとんど変わっていないことから、切梁は2次掘削終了時から拘束効果を発揮しているのがわかる。そのため計算では、2次掘削終了以後から切梁の支承があるものとして計算した。

3.4.2 解析結果

壁体の変位の計測値と3.4.1項の(1)のモデルで解析した結果を比較したものをFig. 9に示す。

計測値と実測値を比較すると、2次掘削終了まではどちらも自立式壁体に似た片持ち梁的な挙動をしており、それ以後は切梁の変位の拘束効果が表れている。これより本計算モデルの妥当性が伺える。

Kドメールの同深度における変位の計測値と計算値は近い値であり、若干計算値の方が大きな変位を示している。これより、(2)式および(3)式で評価した地盤反力係数は、設計として若干安全な値であり、本壁体の構築で用いたようなオーガによる補助工法を用いた場合でも、通常の地盤反力係数の評価法で問題ないと思われる。

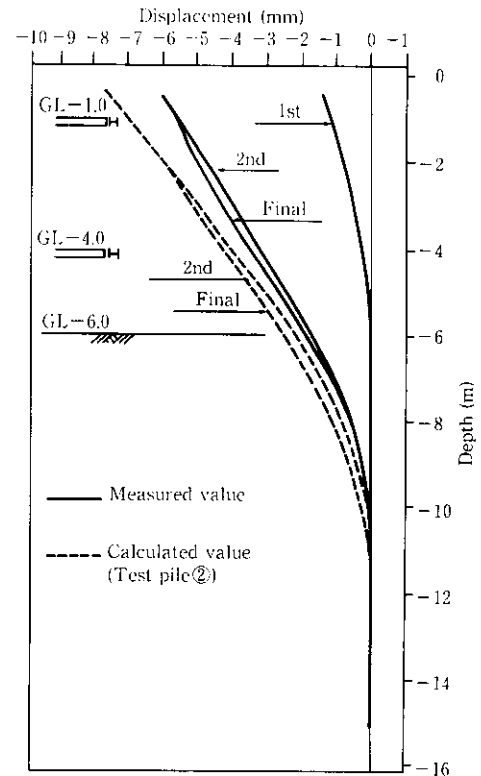


Fig. 9 Measured and calculated displacement of the K-Domerus wall

3.5 壁体の止水性

Kドメールは、直線形鋼矢板により構成されており、従来の鋼矢板同様に仮設工事において有効な止水性を発揮するものと思われる。このような止水性能を定量的に評価するため、前節で述べた仮設ビットにおいて試験を行った。

3.5.1 試験方法

ビットの壁体は、オーガによる排土や水ジェットによる戻り水により、Kドメールの両フランジ間に閉合された部分は、打設されたKドメール1本ごとに異なるが、根切り面+4m～-6mの区間が空洞になっている。Fig. 10に示すように、この空洞の部分に水を

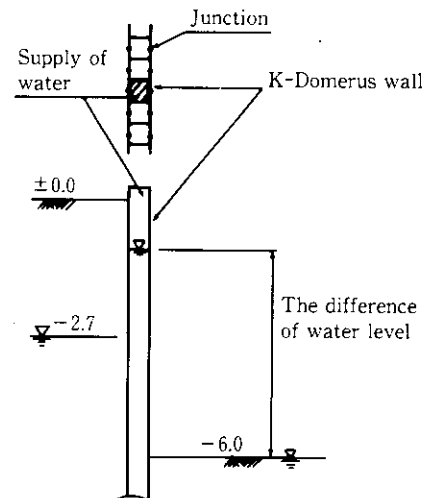


Fig. 10 The method of the test for watertightness of the K-Domerus wall

供給し、時間ごとの水位高さと継手からの漏水量を測定した。また、漏水量は水位の減少分がすべて継手から流出していると仮定して、単位時間の水位差とKドメールの閉合部の断面積を乗じて求めた。

3.5.2 試験結果

漏水量とヘッド差の係数にダルシー則が適用できると仮定すると、次式が成立する。

$$Q = k h A \quad (4)$$

Q : 漏水量 (cm^3/s)

k : 壁の透水性 (s^{-1})

h : ヘッド差 (cm)。水位高さ以下の平均のヘッドという意味で前背面の水位差の平均値とした。

A : 漏水する部分の面積で水位差×部材幅 (50 cm) とする。

Q と h の測定値と (4) 式を用いて求めた各測定継手位置での壁の透水性を Table 4 に示す。漏水量の極めて大きい箇所では、 $k = 2.9 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ となり、過去に行った直線形鋼矢板の室内での漏水試験の結果⁴⁾ とほぼ同等の値が得られた。つまり、このような箇所では継手への土砂の浸入がほとんど無いといえる。また逆に、漏水量の比較的小さい箇所では、 $k = 7.1 \times 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ と小さかった。

Table 4 Measured value of the permeability through the K-Domerus wall

Driving method	Junction No.	Permeability through the K-Domerus wall (s^{-1})
By compact pile jacking piler with water jet	1	3.7×10^{-5}
	2	5.0×10^{-5}
	3	2.2×10^{-5}
	4	5.7×10^{-6}
	5	6.1×10^{-6}
	6	2.3×10^{-6}
By pile jacking piler with earth auger	1	8.3×10^{-5}
	2	8.1×10^{-5}
	3	2.9×10^{-4}
	4	8.2×10^{-5}
	5	7.1×10^{-6}
	6	9.0×10^{-6}

これより、測定継手位置によって透水性に非常に大きなばらつきがあり、継手の止水性は、工法の影響よりも、打設位置ごとの地盤のばらつきによる継手内の土砂のつまり具合の違いに依存すると思われる。壁の透水性は、全体として $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ の範囲にあり、既存の鋼矢板 (IV 型) の試験結果⁵⁾ の $10^{-4} \sim 10^{-5} \text{ s}^{-1}$ に近い値であった。

これらのことより、場所によりばらつきはあるものの、全体的には本壁体のようにKドメール内部が空洞の状態でも、通常の鋼矢板並みの止水性が期待でき、フランジ間の閉合部へ土砂を埋め戻すことにより継手内部に土砂が浸入し、本データのような 10^{-6} s^{-1} 程度の止水性を期待できると思われる。また本試験データは、継手が片側だけの状態の止水性を確認したものであり、継手が両側にあり、Kドメールの背面から水が浸入するような状態ならば、本データ以上の止水性を示すことが予想される。

4 Kドメールの施工例

4.1 首都高速宝町付近拡幅工事⁶⁾

4.1.1 工事概要

都心高速道路の渋滞対策の一環として、首都高速道路都心環状線外廻りの宝町出路付近の約 400 m 区間を、2 車線から 3 車線に拡幅する工事が計画され、このうち、高速 8 号線と内廻り線との合流部で、約 50 m にわたる斜路擁壁が内廻り線側に移設された。当該区間は、1 日当りの交通量が 56 000 台ときわめて多く、しかも沿道は建物が密集する狭あい箇所であったため、道路ユーザーへの安全性の確保、交通規制回数の低減、周辺住民への配慮に加えて、複雑な既設構造物との取り扱いなどが課題となった。

4.1.2 擁壁の設計

Fig. 11 は斜路擁壁の概要を示したものである。外廻り線拡幅位置にKドメールを所定の長さだけ根入れし、新たな自立構造擁壁とした上で、前面側の既設擁壁を撤去するものであった。新設Kドメールの頭部にはコンクリートコーピングと地覆、高欄が取り付けられ、露出する壁体前面は、景観対策として模様型枠を用いた化粧コンクリートと表面塗装による仕上げが施された。

本擁壁の設計条件は Table 5 のとおりであり、構造計算は自立式

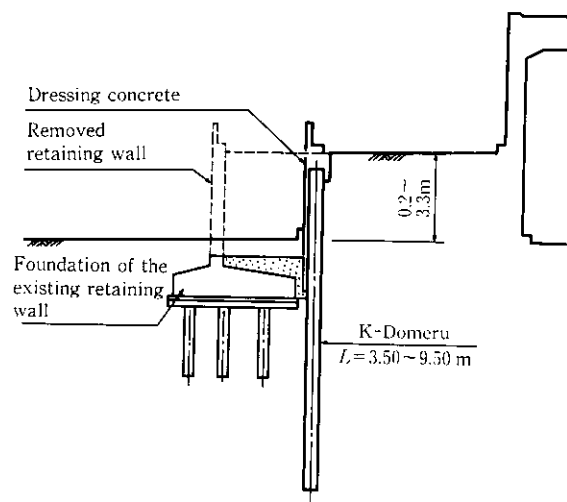


Fig. 11 K-Domeru driven on the right of existing retaining wall to enlarge road

Table 5 Design conditions

Item of condition		Value of condition
Load	Live load	1.0 tf/m ² (0.01 MPa) (Surcharge)
	Impact load	1.0 tf/m (9.8 kN/m) (Horizontal load at 1.0 m height)
Seismic coefficient K_h		0.22
Allowable displacement	Longterm load	1.5 cm
	Earthquake load	2.5 cm
	Impact load	2.5 cm

鋼矢板護岸の設計法に準拠し以下の方法にて行われた。

- (1) 根入れ深さは、主働土圧と受働土圧のつりあいから決定した。
- (2) 変位および断面力は Chang の式にて決定した。

本工事の場合、擁壁頭部の変位規制によって、部材としては大きな剛性を有するものが要求されたが、剛性の割に壁厚を薄くすることができるKドメールの採用によって、路面開放範囲を広くとることが可能となった。同時に壁体の軽量化がはかられたので、狭あい箇所でも材料の搬入が容易となった。

4.1.3 施工方法

本工事の場合、都心環状線の交通を阻害することなく、特に本線側の交通について安全に万全を期する必要があると共に、工事対象となる合流部は、昼間は路面開放を原則とすることから夜間に施工可能な方法を採用する必要がある。また、建物の密集する狭あい箇所であるために、振動・騒音規制も十分満足する必要がある。

このような現場制約条件から、打ち込みに際してはいわゆる水ジェット併用の圧入工法が採用され、仮設構台の不要な簡易な施工体制をとることができた。

圧入機は新たに開発された専用機^{1,2)}で、ストローク0.9m、最大圧入力130tの能力を有しており、全幅1.2m、全高3.8mと比較的コンパクトな上、斜路でも施工が可能なものである。路面開放となる昼間は、そのまま仮置きしても場所をとらず交通を阻害することもない。

Photo 2 は施工状況を示したもので、ジェット水の回収のための溝掘が施されている。打設中の最大圧入力100t程度、平均圧入力40t程度で、Kドメールの爪の離脱もなく比較的順調な施工ができた。また、交通規制の回数も最小限にとどめられた。

Photo 3 は打設完了後、前面掘削した時点でのKドメールの状況である。

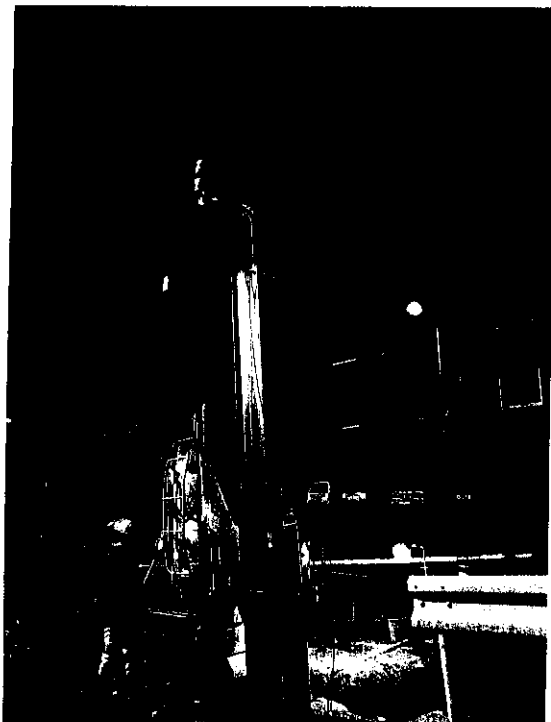


Photo 2 Driving work of K-Domeru with compact pile jacking machine

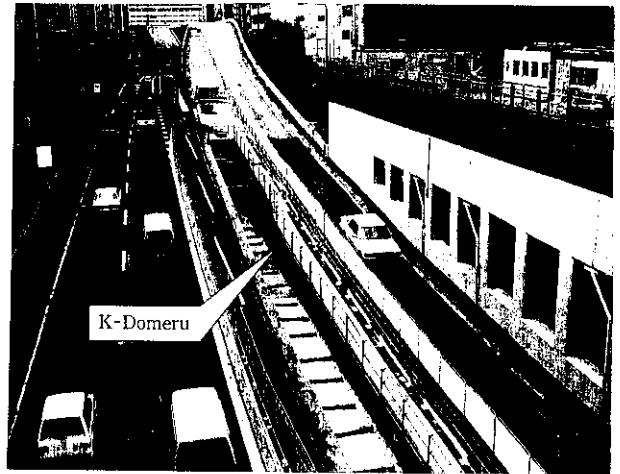


Photo 3 Construction of K-Domeru as retaining wall

4.2 常磐線旧橋脚撤去工事

4.2.1 工事概要

JR 常磐線の旧橋脚撤去工事では、現場が荒川河川敷であることを考慮して十分な止水性を有する仮締め切りを行う必要があった。

Fig. 12 に現場の平面図、Fig. 13 に断面図を示す。締め切りの3辺については壁厚が約2mのU形鋼矢板二重壁で囲むことができるが、残りの1辺については現在の JR 常磐線の橋脚と近接しており、十分なスペースを確保することができなかった。

そのためこの部分については壁厚が小さく、二重壁並みの止水性を有する壁を構築できる両爪タイプで、ウェブの高さが300mm、ウェブの板厚が12mmのKドメールが使用された。

4.2.2 施工方法

現場が騒音・振動がたいして問題にならない河川敷であるためにKドメールの打設にはバイブロンハンマーが用いられた。また、近接している路線高さGL+8mのJR常磐線の安全を考慮し、全長が

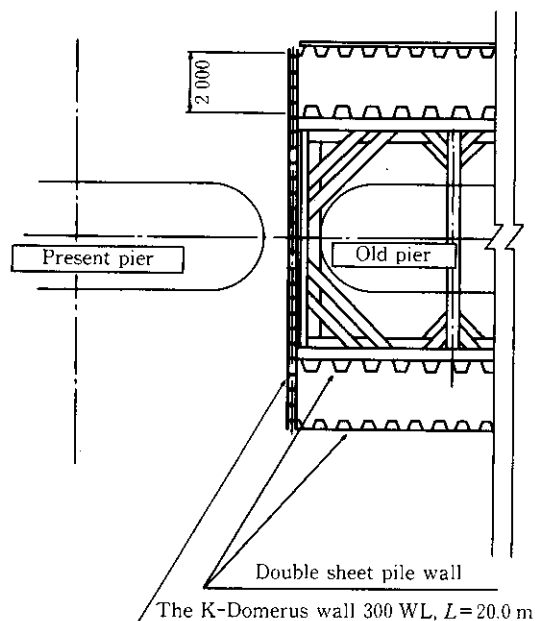


Fig. 12 Plan view of cofferdam of the K-Domeru wall and double sheet pile wall

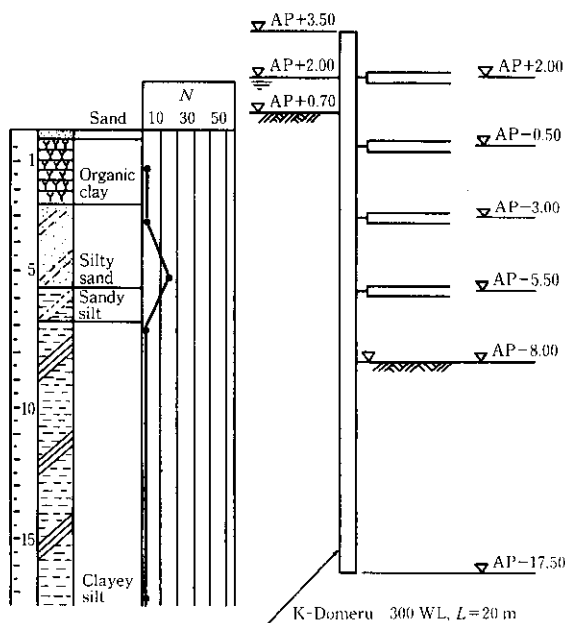


Fig. 13 Cross section of cofferdam of the K-Domerus wall and soil profile on the site

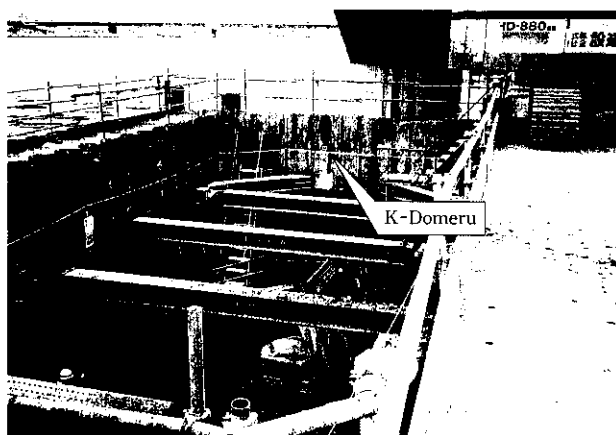


Photo 4 View of excavation work by using K-Domeru at Arakawa river

20 m の Kドメールを現場にて 2 本継ぎにして施工した。

4.2.3 掘削状況

前述したように当工事では止水性が大きなポイントであった。現場は最終掘削深さが AP-8.00 m、河川の水位が AP+2.00 m と最大 10 m 程度の水頭差が生じることとなる。

Kドメールの止水性については、フランジ間の閉合部に砂を入れて、砂と両爪の目詰まり効果による向上を図った。現場では、Kドメール打設後に天端から在来地盤面付近までの空隙に新たに土砂を投入した。

漏水状況は、最終掘削までのどの段階においても滲み出る程度であり、目視ではあるが二重壁と同等の効果を発揮していることが確認できた。

現場の状況を Photo 4 に示す。

5 まとめ

都市部における土地や地下空間の有効活用に対する要求が高まる

中、土留壁に対する要求も厳しくなり、これに答えるものとして鋼製土留壁 Kドメールを開発した。本報告では、開発にあたって実施した各種試験結果と施工事例を中心に述べた。これらをまとめると以下のように要約できる。

- (1) 都市における土地の有効利用を実現するため、曲げ剛性を効果的に発現する H 形の鋼製土留壁 Kドメールを開発した。これは、直線形鋼矢板と厚板あるいは CT 形鋼の溶接による組み合わせによるもので、サイズフリーの断面設計が可能である。
- (2) 上方空間に制限のある工事において行われる現場縦継ぎ溶接部の耐力を確認するため、載荷試験を行った。これより、縦継ぎ部の降伏時の曲げモーメントは設計に用いた曲げモーメント以上であることが確認できた。
- (3) Kドメールの施工法として、パイプロハンマーによる施工、自走式圧入機による施工およびオーガ併用圧入工法が可能なることを実地で確認した。工事に際しては、打設地盤、施工スペース、騒音・振動の制約や経済性を考慮して施工法を選定することが重要である。
- (4) オーガで乱された地盤の実態を把握するため、仮設ピットを構築し、その際に挿入式傾斜計により壁体の変位を計測した。この測定値と壁の 2 方向版としての特性を考慮した 3 次元骨組み解析の結果を比較すると、計算値の方が若干大きく、オーガで乱された地盤においても通常の地盤反力係数の評価法で問題ないと推定される。
- (5) 仮設ピットにおいて、Kドメールの止水性を調査した。壁の透水性の測定値は、継手箇所によって $10^{-4} \sim 10^{-6} \text{ s}^{-1}$ の範囲でばらついているが、Kドメール内部の空洞部に土砂を詰めることによって、 10^{-6} s^{-1} 程度の止水性を期待できる。また、JR 常磐線の旧橋脚撤去工事において、水位差 10 m 程度の仮締め切り工事においても十分な止水性を発揮した。
- (6) 首都高速道路宝町付近拡幅工事において本設道路擁壁として採用された。当該区間はきわめて交通量が多く、沿道に建物の密集する狭あいな箇所であったが、小型の自走式圧入機の施工によって無事工事を完了し、厳しい工事環境への適用性を確認した。

従来の製品にない新しい特長をもつ鋼製土留壁として、これまでもまして施工性を向上させるための研究を続けている。本報告が厳しい工事環境の中での地中壁の設計・施工の参考になれば幸いである。

最後に、首都高速宝町付近拡幅工事の施工にあたって御指導、御援助を賜った首都高速道路公団第三建設部ならびに清水建設株式会社の方々、また、荒川内の常磐線旧橋脚撤去工事にあたって御指導、御援助を賜った東日本旅客鉄道株式会社東京工事事務所ならびに鉄建建設株式会社の方々に、深く謝意を表する次第であります。

参考文献

- 1) ㈱日本建設機械化協会：「日本建設機械要覧」，(1989)，38-39
- 2) ㈱技研製作所：サイレントパイラー C4 型カタログ，(1992)，4
- 3) ㈱首都高速道路厚生会：「仮設構造物設計基準」，(1990)，98
- 4) 高橋邦夫，石田昌弘，川井 豊，中川宏夫：「鋼矢板セルの水密性について」，第 14 回土質工学研究発表会発表講演集，(1979)，1101-1104
- 5) 莊司喜博，桑田政治，富田幸晴：「鋼矢板の透水実験」，港湾技術研究所報告，121 (1982) 4，41-82
- 6) 桑野忠生，室井 豊，峯垣 明：「新鋼製壁体を使用した道路擁壁の設計と施工」，第 19 回日本道路会議論文集，(1991)，126-127