

# メタルロード<sup>®</sup>工法—適用範囲の拡大と耐自然災害性—

## “Metal-Road<sup>®</sup>” Method

### —Diversification of Coverage and High Resistivity against Natural Disaster—

小林 秀幸 KOBAYASHI Hideyuki JFE シビル 橋梁・土木事業本部 工務部設計・工務グループ長  
米沢 洋 YONEZAWA Hiroshi JFE シビル 関西支店 土木営業部メタルロード営業グループ 課長  
樋渡 一哉 HIWATASHI Kazuya JFE シビル 関西支店 土木営業部メタルロード営業グループ 課長  
中路 貴夫 NAKAJI Takao 国土交通省 近畿地方整備局 河川部河川計画課 国土交通技官

#### 要旨

メタルロード<sup>®</sup>工法は、中山間地域での斜面上の道路拡幅に適した工法として開発されたが、近年、開発当初では想定していなかった、急崖や深い谷のような施工がより困難な地形で適用されるようになってきた。地表からの杭の突き出し長が長い場合、二層ラーメン構造とすることによって適用可能となる。また、地形の難易度が高くなっても、杭の打設精度は許容値に対して充分余裕のある範囲におさまっていることが確認できた。一方、2004 年度に発生した地震や台風などの自然災害に対し、被災地区の道路構造物が甚大な被害を受けた中で、近隣のメタルロードは損傷を受けた痕跡がほとんど確認されず、当該工法のもつ高い耐自然災害性が裏付けられた。

#### Abstract:

“Metal-Road<sup>®</sup>” method was developed as a new-type of structure suitable for road expansion over the slope mostly in mountain area. It has recently been applied in wide areas beyond original idea of application such as in extremely steep slope or deep valley. Two-layer frame structure of Metal-Road is applicable and available in case of higher pile projection from ground surface. All eccentricity errors of piling are found enough within the range of allowable tolerance even under higher degree of difficulty and difference of ground features. Traces of damages on Metal-Road by earthquakes and/or typhoons in 2004 were hardly confirmed although the rest of road structures in the stricken area have received extensive damages. It proves the high resistivity of Metal-Road against natural disaster.

#### 1. はじめに

メタルロード<sup>®</sup>工法は、圧延 H 形鋼と鋼管杭を主部材とした鋼製立体ラーメン構造橋であり、主に中山間地域での斜面上の道路拡幅に適する工法として開発された。(財)道路保全技術センターによる技術審査証明を取得した 1999 年度から 2004 年度末までに、累積 145 件、総延長約 7 000 m の事業化実績がある(技術審査証明については、2005 年 3 月に更新済み)。この 6 年の間に全国各地で実績を積み重ねてきているが、最近、メタルロードの適用箇所の多様化が顕著であり、70°もの急崖に杭を打設した事例や地表からの杭の突き出し長が 15 m 超となる谷越えの事例など、工法開発当初では想定していなかったような難易度の高い地形まで適用範囲が拡大してきている。このため、従来よりも構造系が複雑となり、設計時の基本検討や照査項目が増える傾向にある。また、地形の難易度が高まると、

斜面上に施工される杭の打設精度の確保はより困難になると一般的に考えられるが、これは種々のメタルロードの施工データを比較することにより検証される。

一方、メタルロードは、立体ラーメンという構造から、活荷重はもちろんのこと地震や台風による豪雨などに対する耐自然災害性も高いと考えている。2004 年度に国内各地で発生した自然災害、統計上の上陸数が過去最大の 10 個に及んだ台風および新潟県中越地震や福岡県西方沖地震などに対して、被災圏内にあったメタルロードはいずれも、隣接する構造物が甚大な被害を受けたこととは対照的に本体構造にほとんど被害を受けなかった。これにより結果的に当該工法のもつ高い耐自然災害性が実証されることとなった。本論文では、メタルロード工法の基本的な特徴については既報<sup>1,2)</sup>に譲り、事例紹介による当該工法の適用範囲の拡大と杭打設精度の比較、および実証された耐自然災害性について報告する。

## 2. メタルロード工法の適用範囲の拡大

### 2.1 谷越え区間における二層ラーメン構造の適用

Photo 1 および Fig. 1, 2 は、紀の川水系紀の川上流の大滝ダム（奈良県吉野郡）における「対岸道路井戸トンネル工事（発注者：国土交通省近畿地方整備局大滝ダム工事事務所、元請：佐伯建設工業（株）」で新技術活用パイロット事業として採用されたメタルロードの全景、側面図（谷側）および典型横断面図である。当該メタルロードは、トンネル出口の深い谷を越える延長 49.4 m 区間にある、橋軸直角方向が杭 2 列、橋軸方向が杭 9 列（8 スパン）の立体ラーメンであり、谷最深部での路面高は谷底から 15 m を超え



Photo 1 Overview of Metal-Road at Otaki-Dam

ており、中央の 4 スパンのみ立体二層ラーメン構造となっている。なお、Fig. 2 における  $L$  は、一端を設計基盤面、他端を桁中心で拘束されているとした杭の突き出し長を指す。

メタルロードでは標準サイズの杭径を 500 mm としているので、道路橋示方書における細長比の規定 ( $l/r \leq 120$ )<sup>3)</sup> により、一層ラーメン構造としての基準上の適用限界は突き出し長約 13.6m と考えてきた。杭の突き出し長  $L$ （または、有効座屈長  $l = 1.5L$ ）が長くなると、(1) 細長比の増加による許容軸圧縮応力度の低減、(2) 水平荷重作用時の曲げモーメントや水平変位の増大、が設計上問題となる。このような問題に対応するため、当該メタルロードでは、Fig. 2 に示すように中間補強材を取り付けた二層ラーメンとすることによって  $L$  を短くしている。中間補強材と杭を剛結するため、両者の接合部は、Fig. 3 のように現地にて鋼管杭に補強材をボルト接合できる構造とした。

鋼管杭 ( $\phi 500 \times t12$  mm, 断面二次半径  $r = 17.3$  cm) に対する補強材の効果は、補強材を適用しなかった場合との比較により、以下となる。

・補強材を適用した場合（現設計）

杭の突き出し長： $L = 10.245$  m（地表面から中間補強材の桁中心の間）

有効座屈長： $l = 1.5L = 1537$  cm

細長比： $1.5L/r = 89 \leq 120$

許容軸方向圧縮応力度（常時）： $\sigma_{ca} = 93$  N/mm<sup>2</sup>

道路橋示方書の曲げ圧縮照査式： $0.83 \leq 1.0$ （施工時）

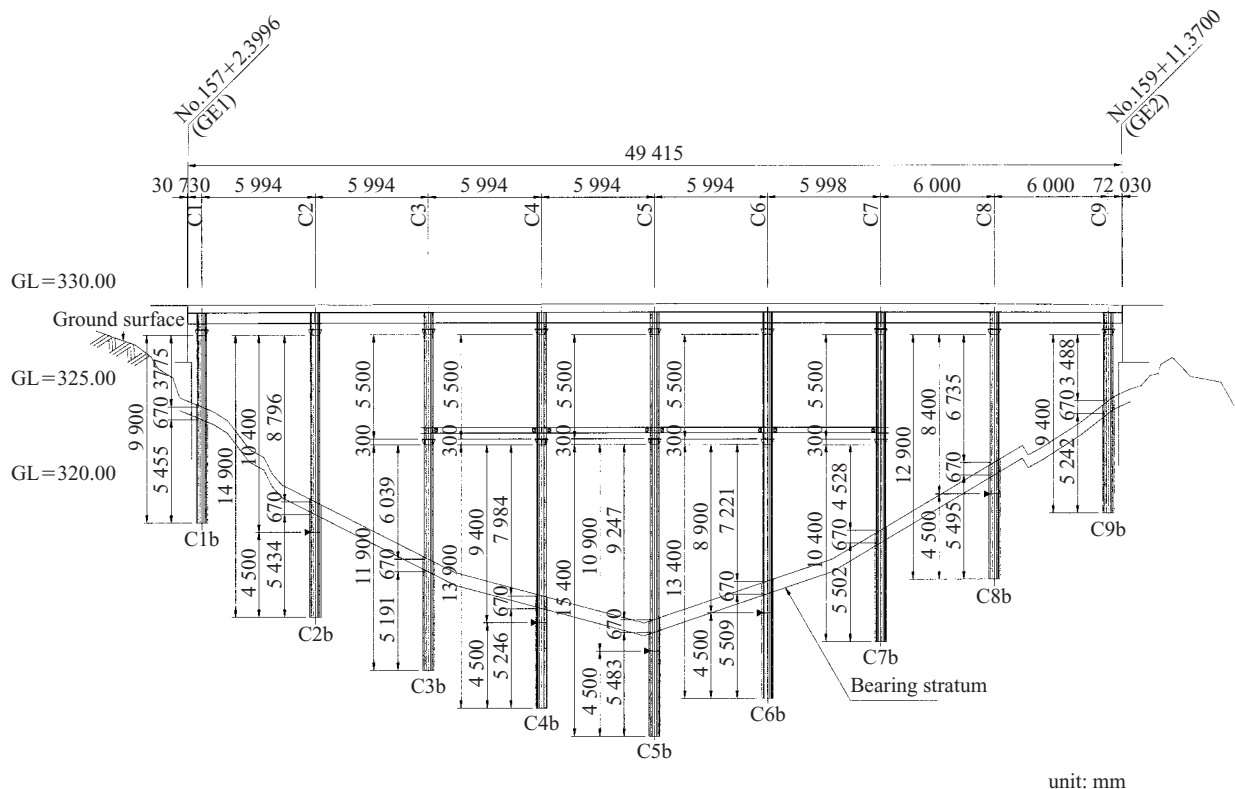


Fig. 1 Vertical-section of Metal-Road at Otaki-Dam (Lower side)

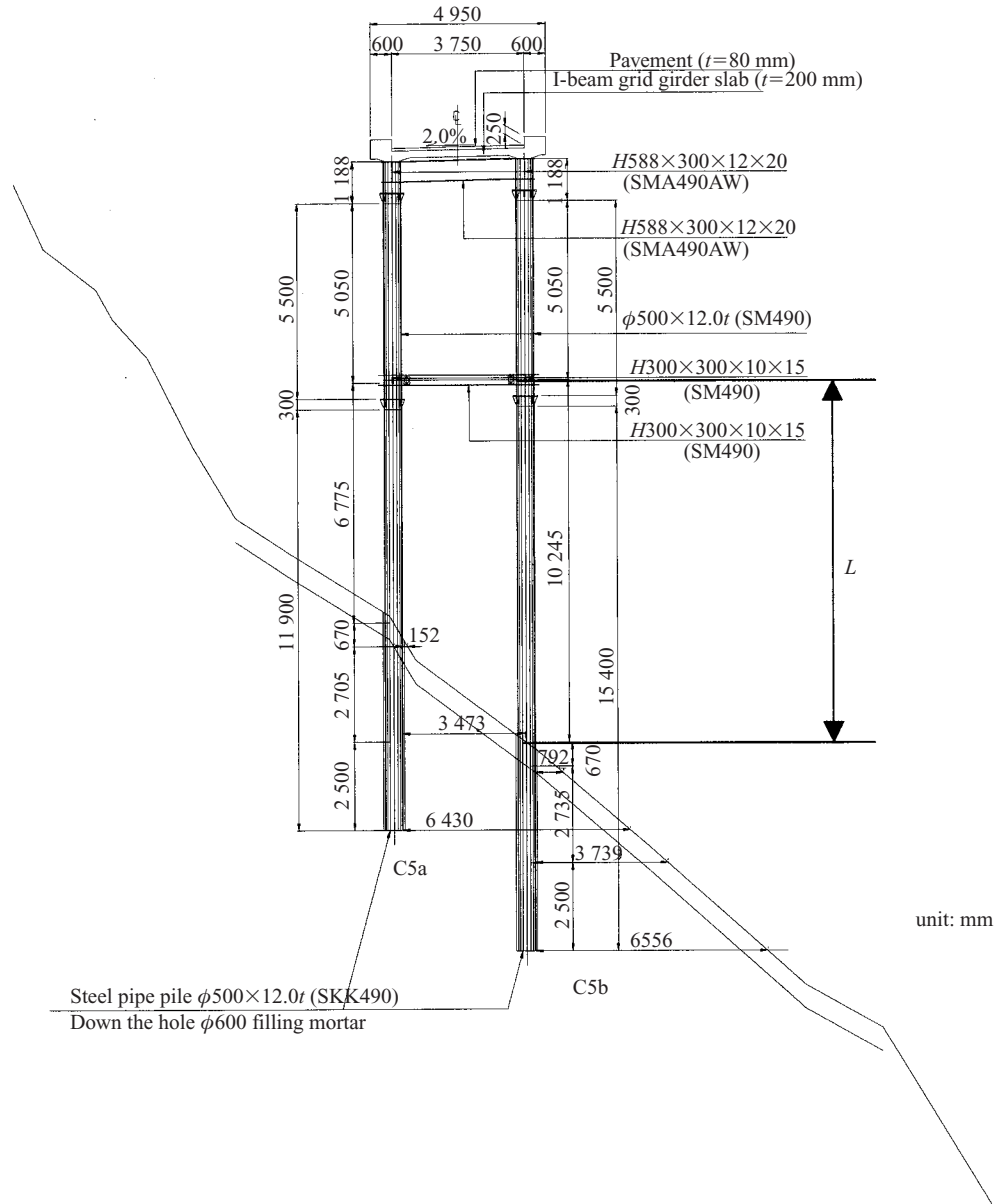


Fig.2 Typical cross-section of Metal-Road at Otaki-Dam (Column No. C5)

・補強材を適用しなかった場合（参考）

杭の突き出し長： $L = 16.183 \text{ m}$ （地表面から主桁中心の間）

有効座屈長： $l = 1.5L = 2427 \text{ cm}$

細長比： $1.5L/r = 140 > 120$

許容軸方向圧縮応力度（常時）： $\sigma_{ca} = 47 \text{ N/mm}^2$

道路橋示方書の曲げ圧縮照査式： $2.25 > 1.0$ （施工時）

ここで、「道路橋示方書の曲げ圧縮照査式」とは、「軸方向力（圧縮）と曲げモーメントを受ける部材の照査式（道路橋示方書Ⅱ、鋼橋編（4.3.4）式）」である。

このように、中間補強材により、基準を満足するだけでなく許容応力度が著しく改善される。

次に、Fig.2の二次元断面における地震時解析（設計水平震度0.2に相当する水平力を、Fig.2の面内左側から右側へ作用させる解析）での曲げモーメント分布をFig.4に、

水平変位をFig.5に示す。

杭体に発生する曲げモーメントは、ラーメン山側隅角部で補強材なしの場合最大  $367 \text{ kN}\cdot\text{m}$  が、補強材を入れることにより  $157 \text{ kN}\cdot\text{m}$  に低減され、同様に山側杭地中部での発生曲げモーメント  $349 \text{ kN}\cdot\text{m}$  が  $267 \text{ kN}\cdot\text{m}$  に低減されるなど  $43\sim77\%$  に低減されている。上部工の水平変位も、補強材なしでの  $139 \text{ mm}$  から補強材ありの場合の  $71 \text{ mm}$  へと約  $1/2$  に低減される。

突き出し長が大きく細長比の規定値を超える場合は、これまでのメタルロードでは対処できなかったが、適切に中間補強材を使用して二層ラーメン構造とすることによって、モーメントの低減や上部工変位の抑制に有効となることが分かる。しかしながら、杭の剛比に影響を及ぼす中間補強材の最適な大きさおよび取付け位置の検討に際しては、まだ設計事例が少ないために個別に試行錯誤しながら進めて



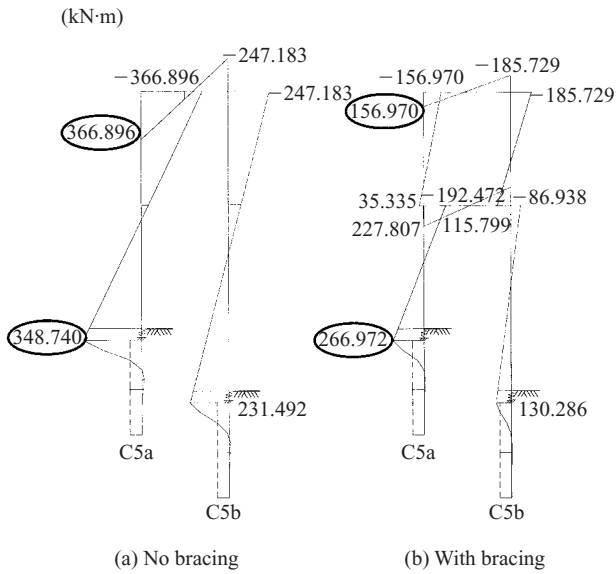


Fig. 4 Bending moment distribution (Column No. C5)

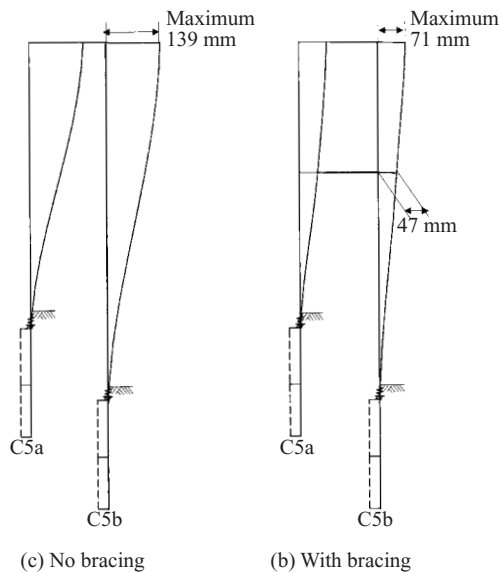


Fig. 5 Horizontal displacement distribution (Column No. C5)

いる状況にあり、適切な上部工の許容変位量の設定も含め、簡便かつより合理的な設計方法の確立が今後の課題である。なお、当該メタルロードは、別途3次元モデルによるレベル2地震動に対する地震時保有水平耐力照査により、十分な耐力を有することが確認されている。

## 2.2 地形の難易度による基礎杭の打設精度

メタルロード工法の施工は、自身の骨組構造に載った重機が1スパンずつ前進していく手延べ式施工が原則である。この際、地形条件に最も影響を受けるのは基礎杭の施工と考えられる。前節のような突き出し長が大きい場合や斜面の傾斜が急になると削孔時にハンマが振れやすくなり、また、作業性の低下ばかりでなく施工中の確認測量も難しくなり、打設精度が悪くなる可能性がある。

出来形管理基準における杭の許容偏心量は、施工方法によらず100 mmであることが多い。メタルロードは、立体

ラーメンを成立させるため杭の偏心量100 mmを剛結部で吸収できる構造となっており、かつ設計上でも杭の偏心量100 mmを考慮している。

Fig. 6は、前節の二層ラーメンのメタルロードにおける全18本の杭の偏心量である。upper sideは山側杭を、lower sideは谷側杭を示す。許容偏心量100 mmに対して、平均誤差11.8 mm（最小誤差0.7 mm、最大誤差26.9 mm）となっており、綿密な計画と質の高い施工管理の実施により十分な精度が得られている。突き出し長の大きい二層ラーメンの杭列と一層ラーメンの杭列での打設精度に明確な違いはないことも分かった。

次に、最近の施工実績を中心とする、全国計30件のメタルロード工事における総本数748本の杭偏心量の度数分布をFig. 7示す。縦軸は度数（本数）、横軸は20 mmごとの杭の偏心量（mm）を示し、杭を施工する斜面の傾斜による影響の有無をみるため、典型横断面により斜面勾配を(1) 45°未満、(2) 45°~63°（5分勾配）未満、(3) 63°（5分勾配）以上の3種類に分けて表示している。グラフ中の数字は、各偏心区間における63°以上の勾配の杭本数の占める割合である。

まず、全体について考察すると、平均誤差は15.7 mm、最大誤差は89.8 mm、最小誤差は0.0 mm、標準偏差は

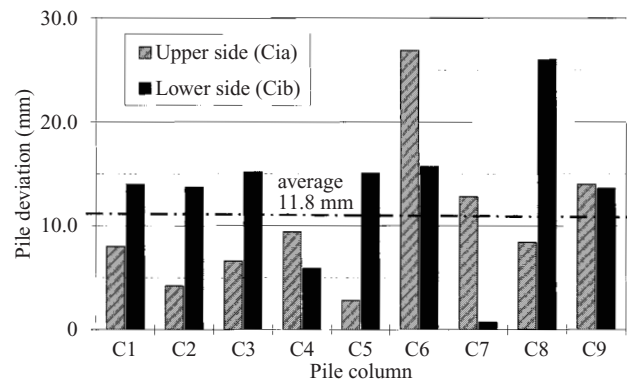


Fig. 6 Pile deviation of Metal-Road at Otaki-Dam

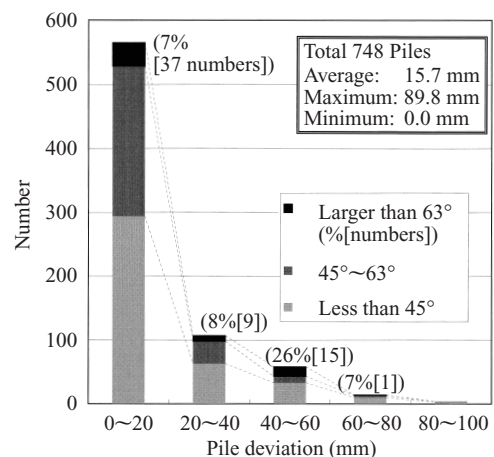


Fig. 7 Histogram of pile deviation

16.4 mm であり、おおおね良好な精度管理ができていていると考えられる。約 90 mm の最大誤差が発生した工事においても、平均誤差は 42.3 mm (杭本数 43 本) と許容値の半分以内に収まっている。各工事ごとの平均誤差の最大値は 47.5 mm で、最小値がわずか 1.9 mm の工事もあった。しかしながら、各工事ごとの最大誤差 30 値の平均値は 43.4 mm で、最大誤差が 50 mm を超えた工事が全体の約 1/3 の 11 件におよんでおり、全般的には良好な精度管理をしつつも、施工途中に誤差が大きくなる杭が数本発生するケースが多いことも分かった。

次に、勾配別の違いの有無について考察する。全 30 案件中、勾配 63° (5 分勾配) 未満の案件は全体で 26 件 (87%)、杭の本数で 672 本 (90%) である。各工事での施工条件は千差万別であり斜面勾配だけでの判断は早急だが、たとえば 40~60 mm の偏芯が出た杭 (本数 58 本) の中で、63° 以上の斜面勾配に打設された杭の比率は 26% (15 本) と、偏芯 40 mm 未満の場合の比率 7% (46 本 / 672 本) に比べて高くなっており、勾配が急になると打設誤差が大きくなりやすい傾向は確認された。

全般的には、地形の難易度が高まった場合であっても、許容偏芯量に対して相当の余裕があり、現行においても現地施工は問題なく実施できていると考えられる。今後も、引き続きデータを収集し、精度の維持改善を図っていく。

### 3. メタルロードの耐自然災害性

#### 3.1 大地震に対する耐自然災害性 (新潟県中越地震の場合)

新潟県中越地震は、2004 年 10 月 23 日 17 時 56 分、新潟県中越地方にて発生した、M (マグニチュード) 6.8、最大震度 7 に達する直下型地震である。本震以降も約 2 ヶ月にわたり M5 クラスの余震が 2004 年末までに合計 19 回におよんだ。しかも、本震直前の台風による豪雨の影響により地盤は高含水比状態にあったと予想され、高速道路・一般

道路ともに斜面や盛土構造物に甚大な被害が生じた。

一般県道真田高島線 (十日町市) メタルロード (拡幅幅 1.9 m × 延長 100 m) は、本震の震央から南西方向に約 25 km、北北東に流れる信濃川の河川域から西に約 2 km の山中にある東西方向の道路であり、地震発生当時床版工の施工中にあった。当該メタルロードの縦断面図 (谷側) および代表横断面図を Fig. 8, 9 に示す。拡幅延長 100 m の区間は、長さ 31.4 m, 37.2 m, 31.4 m の 3 ブロックに独立した構造物から構成されている。地覆を含めた全幅員は 2.5 m で、谷側杭と山側杭の間隔は 1.5 m と一般的なメタルロードと比べて狭いため、杭径は標準サイズの 500 mm より小さい 400 mm ( $\phi 400 \times t9.0$  mm, SKK400) となっている。橋軸方向のスパンは、ほぼ標準的なスパン間隔の 5.9 m であり、主桁は標準サイズである (H588 × 300 × 12 × 20, SM400)。杭は、ダウンザホールハンマ工法により施工され、地表面以深の鋼管杭内外部はモルタルで充填される。山側杭は、施工完了後に既存の石積擁壁の中に充填コンクリートによってほぼ全長が埋まるが、谷側杭は地盤面から最大で 4 m 程度突き出す構造となっている。

#### 3.1.1 設計の概要 (常時・レベル 1 地震動時・施工時に対する検討)

メタルロード工法の設計は原則として、横断面 (橋軸直角方向の断面図) の 2 次元骨組みモデルを作成し、常時・レベル 1 地震動時 (以下、L1 地震時) ・施工時の解析を行い、許容応力度法にて杭部材を決定する。桁については、道路方向における単純桁モデルにより部材を決定する。当該メタルロードの C ブロックの場合、Fig. 9 の横断面の 2 次元骨組みモデルに対し計 7 ケースの解析を実施しており、部材選定の際の卓越指標となる前述の「道路橋示方書の曲げ圧縮照査式」の計算結果は次のとおりとなっている。

- ・山側杭  
常時 : 0.754, L1 地震時 : 0.415, 施工時 : 0.872
- ・谷側杭  
常時 : 0.633, L1 地震時 : 0.343, 施工時 : 0.691

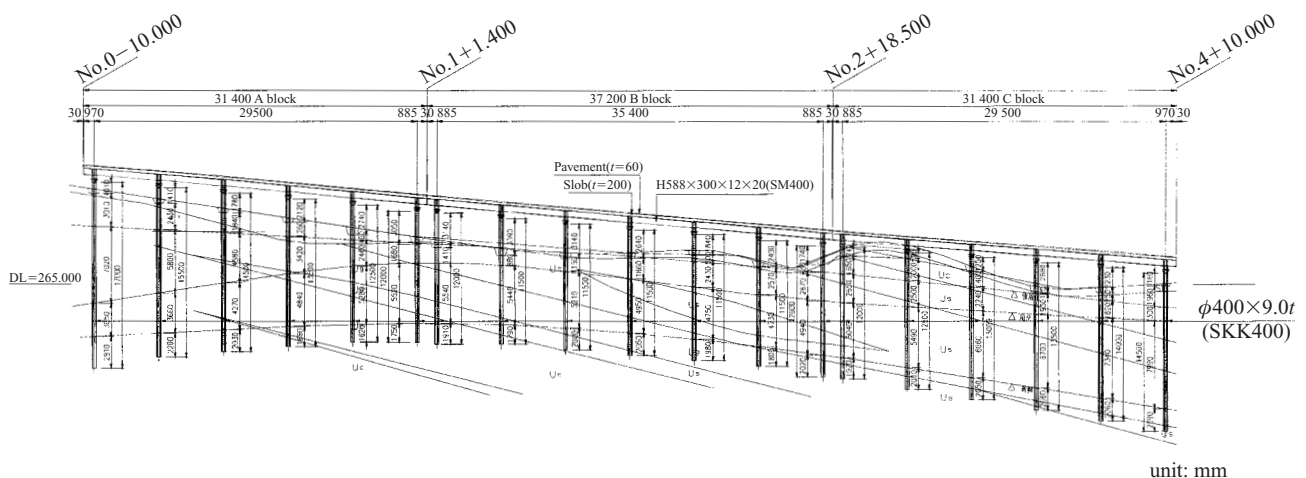


Fig. 8 Vertical-section of Sanada-Takashima Metal-Road (Lower side)

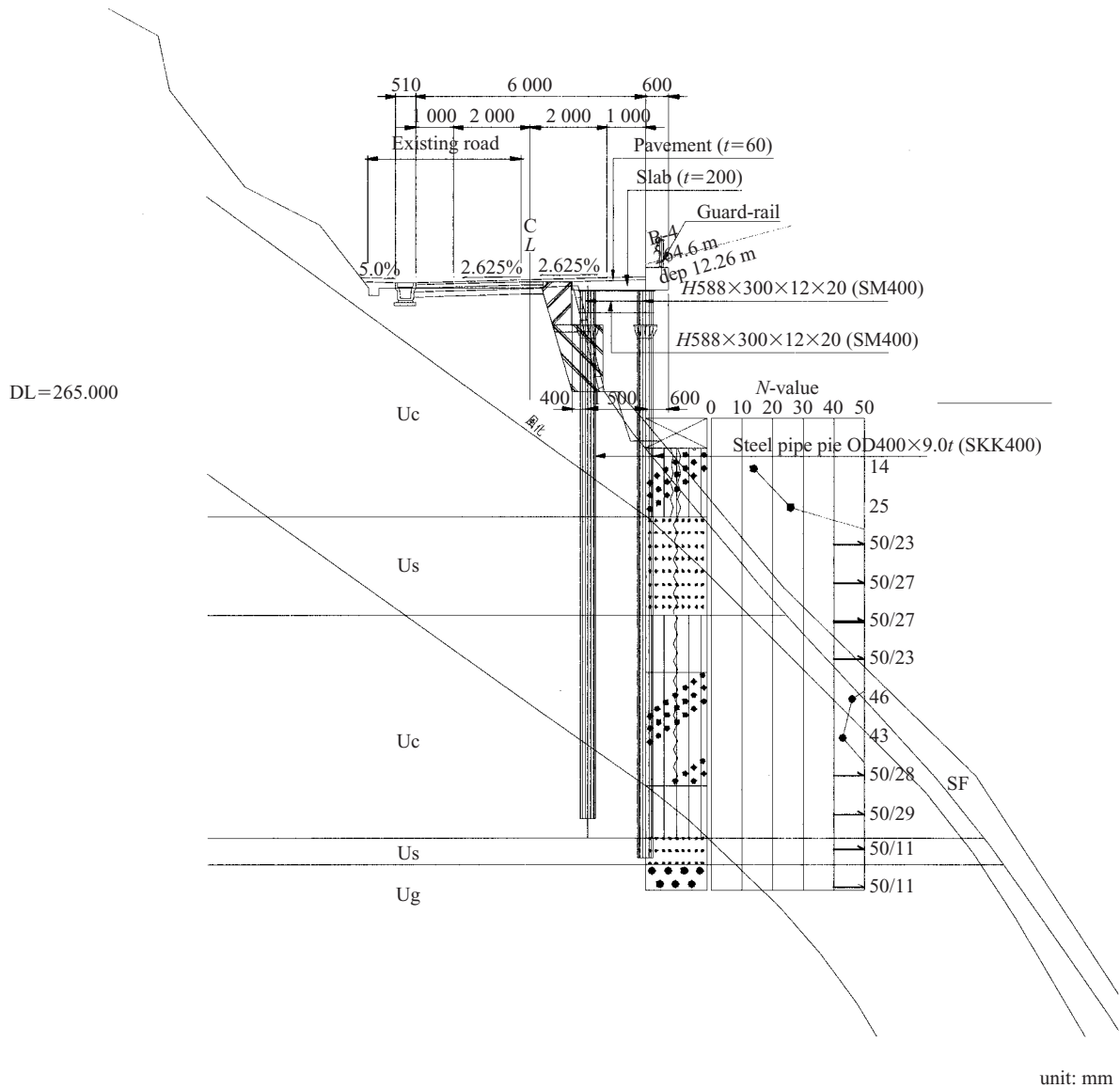


Fig. 9 Typical cross-section of Sanada-Takashima Metal-Road (Point No. 4 at C-Block)

つまり、杭部材の仕様は、常時および施工時によって定まり、地震時は決定要因となっていない。これはメタルロード構造では一般的な傾向であり、L1地震の荷重に対しては高い安全率を有することになる。当該メタルロードの場合はさらに、背面土による山側杭の拘束が大きいこと、谷側杭の突き出し長が比較的小さいこと、および地盤種別がI種地盤でありL1地震の設計水平震度が小さいこともあげられる。

### 3.1.2 レベル2地震動に対する照査

メタルロード工法におけるレベル2地震動に対する照査（以下、L2地震時）を行う場合は、原則として、立体ラーメン構造の特性を考慮するために3次元骨組みモデルを作成して行う。当該メタルロードにおける解析モデル（動的解析）をFig. 10に示す。モデルの要素は、杭には2軸曲げが発生することおよび軸力が変動することからファイバー要素としている（上部構造の桁は、解析に応じて梁要

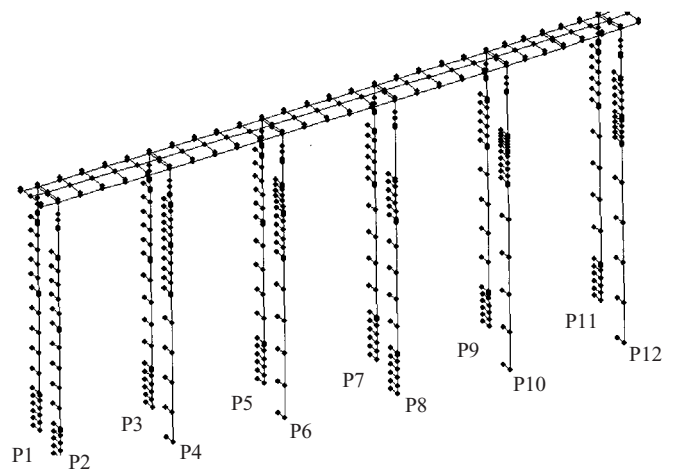


Fig. 10 3-Dimensional model of Sanada-Takashima Metal-Road for dynamic analysis

素またはファイバー要素としている)。部材の仕様は、前述のとおり、鋼管杭はφ400×t9.0mm (SKK400)、桁はH588×300×12×20mm (SM400)である。通常の照査方法としては、まず固有値解析を行い、低次の特定の振動モード、具体的には橋軸方向と橋軸直角方向の振動が卓越する場合は地震時保有水平耐力照査（静的解析）を、構造の複雑さのために他の振動モードが無視できないような場合は非線形時刻歴応答解析（動的解析）を実施する。

当該メタルロードの場合は、終点側のCブロック（長さ31.4m）において地震時保有水平耐力照査ならびに非線形動的解析の両方を実施しており、両照査において、ともに十分な耐力を有していることが確認されている。以下、両照査の内容について概説する。

(1) プッシュオーバー解析による地震時保有水平耐力照査

メタルロードにおける地震時保有水平耐力照査での一般的な解析条件は以下のとおりである。

解析モデル：上部構造—梁要素、杭（突出部・地中部とも）—ファイバー要素

検討ケース：橋軸方向±、橋軸直角方向±の4方向×2タイプ（Ⅰ・Ⅱ）の計8ケース

降伏判定：地中部の杭が最初に降伏に達したとき

終局判定：地中部の杭の（有効破壊長での）平均ひずみが最初に終局に達したとき

なお、固有周期は橋軸方向が0.12s、橋軸直角方向が0.17sであり、地盤種別はⅠ種地盤である。4方向のプッシュオーバー解析の中より、橋軸方向+（終点方向）と橋軸直角方向+（山→谷方向）の荷重変位曲線（P-δ曲線）をFig. 11, 12に示す。縦軸の水平力は等価重量1037.2kNに対する震度で表示しており、横軸は全杭の杭頭部水平変位の平均値である。図中表示したイベントは、■は杭頭部で最初に降伏が開始した点、▲は杭地中部で最初に降伏が開始した点（降伏判定点）、×は杭地中部で最初に終局となった点（終局判定点）をそれぞれ表している。両方向とも杭頭部で最初の降伏が始まり、その後には杭地中部で降伏が発生している。各杭の剛比が異なるので、最初の杭が地中部で降伏した後すぐに終局にはならず、他の杭で順次降伏が発生していき、やがていずれかの杭で最初に終局を迎えるまで粘り強い挙動を持つことが分かる。橋軸方向では、杭地中部の最初の降伏（全体構造の降伏判定）とP-δ曲線の勾配変化点がほぼ一致しているが、橋軸直角方向では、降伏判定後も弾性挙動が継続している。このために、P-δ曲線の勾配変化点を降伏時と見なした場合と比べ、許容塑性率の計算は危険側となり、逆に保有水平耐力の計算は安全側となる。エネルギー一定則が適用できると仮定して、タイプⅠ・タイプⅡに対する橋軸方向+、橋軸直角方向+の方向の地震時保有水平耐力照査を行うと、以下の結果となる。

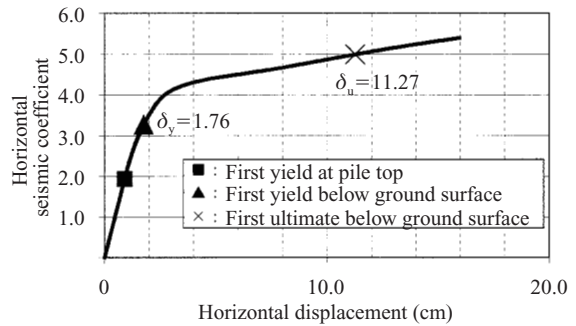


Fig. 11 Relation between horizontal load and horizontal displacement (Longitudinal direction)

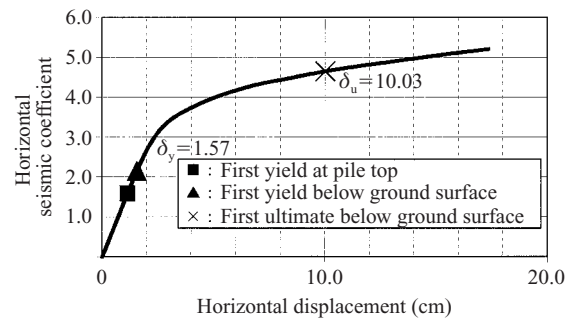


Fig. 12 Relation between horizontal load and horizontal displacement (Cross direction)

・タイプⅠ地震（α = 3.0）

橋軸+（終点方向）：δ<sub>y</sub> = 1.76 cm, δ<sub>u</sub> = 11.27 cm, μ<sub>a</sub> = 2.8

H<sub>a</sub> = 3 986 kN ≧ k<sub>hc</sub> · W = 353 kN (k<sub>hc</sub> = 0.34)

橋軸直角+（山→谷方向）：δ<sub>y</sub> = 1.57 cm,

δ<sub>u</sub> = 10.03 cm, μ<sub>a</sub> = 2.8

H<sub>a</sub> = 3 087 kN ≧ k<sub>hc</sub> · W = 353 kN (k<sub>hc</sub> = 0.34)

・タイプⅡ地震（α = 1.5）

橋軸+（終点方向）：μ<sub>a</sub> = 4.6

H<sub>a</sub> = 4 583 kN ≧ k<sub>hc</sub> · W = 353 kN (k<sub>hc</sub> = 0.34)

橋軸直角+（山→谷方向）：μ<sub>a</sub> = 4.6

H<sub>a</sub> = 3 952 kN ≧ k<sub>hc</sub> · W = 425 kN (k<sub>hc</sub> = 0.41)

ここで、δ<sub>y</sub>：降伏変位（同一方向ではタイプⅠとタイプⅡで同じ）

δ<sub>u</sub>：終局変位（同一方向ではタイプⅠとタイプⅡで同じ）

μ<sub>a</sub>：許容塑性率

H<sub>a</sub>：地震時保有水平耐力

k<sub>hc</sub>：設計水平震度

W：地震時保有水平耐力法に用いる等価重量

タイプⅠ・Ⅱいずれに対しても、当該メタルロードの地震時保有水平耐力は橋直・橋軸方向ともに余裕のある結果となっており、k<sub>hc</sub>の値とFig. 11および12のイベントを対比すると、タイプⅠ・タイプⅡの地震発生時でも弾性挙動の範囲内に収まっていると考えられる。



(2) 非線形動的解析 (時刻歴応答解析)

メタルロードにおける非線形動的解析での一般的な解析条件は以下のとおりである。

- ・解析モデル：床版—弾性モデル, 桁・杭—ファイバーモデル
- ・検討ケース：橋軸方向および橋軸直角方向にタイプ I・II 各 3 波形 (I 種地盤)
- ・減衰：定数—道路橋示方書の参考値, モデル—レイリー型粘性減衰マトリックス
- ・照査項目：最大応答変位, 杭の損傷値, 上部工の耐震性, 残留変位

解析結果を順に述べる。

(a) 最大応答変位

橋軸方向で 0.3 cm, 橋軸直角方向で 0.6 cm であり, 前述のプッシュオーバー解析の  $\delta_y$  と比較して 20~40% 程度と小さく, 杭は降伏には至っていないと判断される。

(b) 鋼管杭の耐震性

最も損傷度が大きかった橋軸直角方向解析における, P5 杭の杭頭剛結部の鋼管杭の応力-ひずみ曲線を Fig. 13 に示す。有効破壊長における最大発生ひずみ 0.00038 は, 限界ひずみ 0.00854 に比べて小さく, 履歴曲線の形状が直線であることから, 弾性範囲内の挙動にとどまっていることが分かる。

(c) 上部工 (桁) の耐震性

上部工の桁材に生じるひずみは鋼管杭よりさらに小さく, 弾性範囲内の挙動となっている。

(d) 残留変位

構造系全体が弾性範囲の挙動であることから, 残留変位は生じていない。

以上より, 非線形動的解析においても, タイプ I・II いずれに対しても, 当該メタルロードが極めて高い耐震性を持つことが分かる。

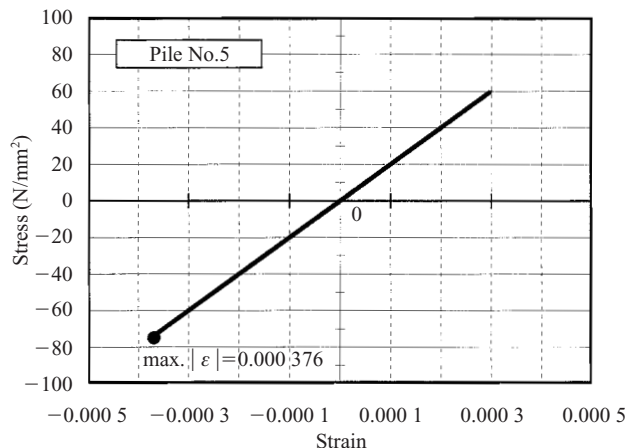


Fig. 13 Relation between stress and strain (Steel pipe pile)

(3) 実際の地震発生後の状況

新潟県中越地震の発生直後の当該メタルロードの状況を Photo 2, 3 に示す。Photo 2 は, メタルロード終点側からみた全景であるが, 手前の盛土には地割れが入っており付近一体に相当の震動が作用したと推定されるが, メタルロード拡幅区間については, コンクリート床版, 床版と現道 (地山) との境界, 現道 (地山) 部分のいずれにも損傷や亀裂は見られなかった。特に, 現道が無傷であったことから, 背面土の震動に対してメタルロード構造が抑止的効果を発揮したと推定される。Photo 3 は, 谷側の法面からみた本体構造の状況である。本震直後の目視調査の限りではあるが, 上部工 (桁および格点部) には塗装剥れ含めて損傷はなく, かつ基礎杭 (ダウン・ザ・ホールハンマによる施工) の地表面付近も亀裂は確認されなかった。既存の石積擁壁にも, はらみや目違いなどの変状はなかったことから, 残留変位は発生していないと考えられる。K-NET 十日町 (code: NIG021) での観測値は, 最大加速度 1716 gal (NS 方向), 最大速度 54 kine (NS 方向) となっており, 東西方向の道路である当該メタルロードは主に橋軸直角方向に大きな震動を受けた可能性が高いが, 目視調査の結果は前述の L2 地震動に対する検討結果に照らして合致するものであり, メタル



Photo 2 Sanada-Takashima Metal-Road after Niigata-Chuetsu Earthquake (View on road)



Photo 3 Sanada-Takashima Metal-Road after Niigata-Chuetsu Earthquake (View from slope side)

ロード構造の高い耐震性が実証されたと考える。

### 3.2 豪雨に対する耐自然災害性 (台風 200421 号 (Meari) の場合)

三重県中部にある宮川村では、2004年9月28日から29日にかけて台風21号の接近にともなう集中豪雨(時間雨量最大139mm)に見舞われ、斜面崩壊や土石流などの土砂災害が多数発生し、大きな被害がでた。宮川村には、同村を通る国道422号線の道路整備事業などとして、2000年度竣工、ならびに当時施工中の2ヶ所のメタルロード区間があった。竣工済み区間のメタルロードにおいては、集中豪雨による河川増水などにより、隣接する盛土による既存道路の法面が流出し、路面崩壊が発生したが(Photo 4)、メタルロード区間は法面の擁壁底盤の土砂が一部が流出しただけで本体構造の損傷はなかった。一方、施工途中のメタルロード区間においては、現道がほぼ完全に流出し、地表面下に埋もれていたメタルロードの山側鋼管杭の削孔部充填モルタルが露出し(Photo 5)、またブロック積み擁壁の崩壊による杭塗装の部分的な剥れは確認できたが、致命的な損傷ではなく、周辺構造物と比べて軽微な被害にとどまった。

メタルロードは、上部工の荷重を鋼管杭を介して堅固な支持層で支える構造のため、斜面の安定を損なわないだけ



Photo 4 Metal-Road after Typhoon 2004-21 at Mie Pref.



Photo 5 Metal-Road (under construction) after Typhoon 2004-21 at Mie Pref.

でなく斜面崩壊に対する影響も小さいと、これまで考えてきた。今回の台風により、表層や中間層が崩壊・流出した場合においても、メタルロードの構造系全体の倒壊には至りにくいという特徴が裏付けられたと考えられる。

## 4. おわりに

本論文において、メタルロードの適用範囲の拡大との耐自然災害性について報告した。

- (1) 杭の突出長が長い場合にも、二層ラーメン構造によるメタルロードが適用可能である。
- (2) 地形の難易度が高まった場合でも、杭の打設精度は許容値内に抑えることが可能である。
- (3) メタルロードの特徴と考えていた耐自然災害性が、実際の地震や豪雨で裏付けられた。

公共事業のコスト縮減が将来的に継続していく中、メタルロードの特徴を生かした社会資本整備が進められるよう、今後も適用範囲拡大およびそれにともなう構造改良を図っていく所存である。

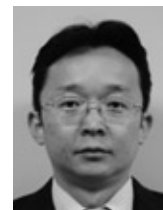
メタルロードの適用事例を本稿に掲載することを快く許可していただき、また、ご多忙の中、原稿に対して適切な助言を頂いた発注者をはじめ関係者の方々に心からお礼を申し上げます。また、新潟県中越地震や台風21号で被害に遭われた方々に対し、心からお見舞い申し上げますとともに、一日も早く復旧し、もとの生活に戻れることができますよう、お祈り申し上げます。

### 参考文献

- 1) (財)道路保全技術センター. メタルロード工法 道路保全技術・技術審査証明報告書.
- 2) 宮川裕史ら. 山岳地の急斜面における道路拡幅に適したメタルロード工法. 川崎製鉄技報. vol. 34, no. 4, 2002, p. 212-214.
- 3) (社)日本道路協会. 道路橋示方書・同解説 II 鋼橋編 4.1.5.



小林 秀幸



米沢 洋



樋渡 一哉



中路 貴夫