

技術報文

# ジオグリッド補強土壁の3次元構造を有する壁面材について

岡三リビック(株) 中村 真司

## 1. はじめに

現在、法面勾配が1:1.0より急勾配であるジオグリッド補強土壁にあつては、L形に折り曲げた溶接金網・エキスパンドメタルやコンクリートブロック等を壁面工として使用し、施工上の安定や法面のエロージョン防止を図っている。これらのジオグリッド補強土壁は、各段の壁面材上端まで盛土面を仕上げた後、その上に次の壁面材を施工する<sup>1)</sup>。一般に、溶接金網やエキスパンドメタルの壁面材は上下、左右の壁面材同士を緩い結合によって施工するため、擁壁全体が非常にフレキシブルであり、盛土の変形に追従しやすいという利点がある。

しかしながら、壁面材上端まで盛土面を仕上げなければ上の壁面材を施工できないため、転落防止施設を設置する場合等、盛土の進捗とともに段毎に安全施設の付替えが必要となり、この付替え作業中の危険は避けることができない。また、建設に従事する一般作業員の高齢化が叫ばれるようになって久しく、比較的軽量の部材で施工するジオグリッド補強土壁においてもさらに部材の軽量化、効率化が望まれている。

フラットパネル工法(壁面材)では、一連作業であつたジオグリッド敷設・盛土作業と壁面材設置作業を切り離し、写真-1のように壁面材の組立てを先行させることで、施工中の転落に対する危険を抑制できるようになった。同時に、壁面材の軽量化を図ることで作業の効率化も目指した。このために、壁面材を構成する縦方向の線材(以下、縦材)と横方向の線材(以下、横材)を3次元構造となるように接合し、面の曲げ剛性、強度特性を向上させた。

この報文ではこの3次元構造を持つ壁面材の特徴と強度特性を調べた試験結果及び現場計測結果について述べる。

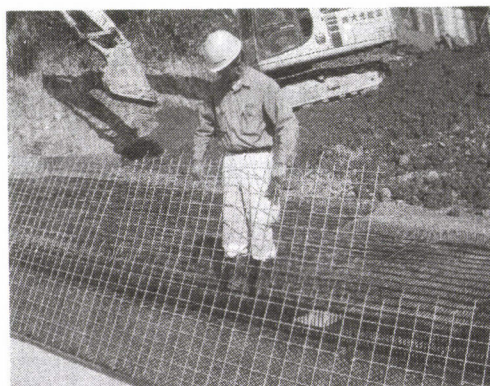
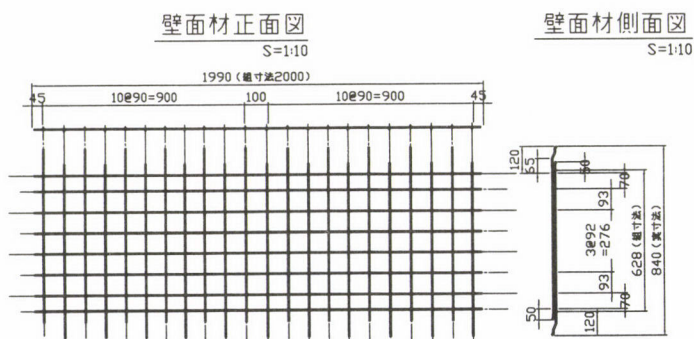


写真-1 壁面材の取付

## 2. 形状と特徴



壁面材1枚当り重量 8.58 (kgf/枚)

図-1 フラットパネルの形状

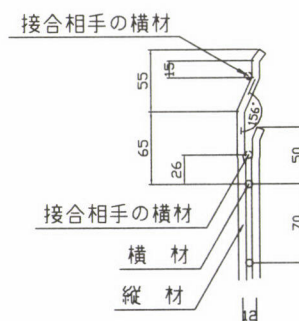


図-2 フラットパネルの端部形状



ジオグリッド補強土壁フラットパネル工法の壁面材は、本体が図-1に示すような形状の溶接金網であり、その他接続材などの部材からなっている。

この本体の上下端部は壁面材同士を接合するため、図-2のような形状に折り曲げ加工されている。この端部を上下方向から互いに差し込み、全体を千鳥に配置して壁面材同士を連結し、壁を面的に一体化する構造となっている。また、この上下方向の連結部には、盛土沈下に対応するため約3cmの差込み余裕が設けられている。

壁面材とジオグリッドは直接に接続せず、図-3に示す「接続材」を介して壁面材に連結される。写真-2、写真-3に示すように、盛土の沈下などの影響が直接に壁面材へ及ばないように接続材は壁面材に固定されていない。

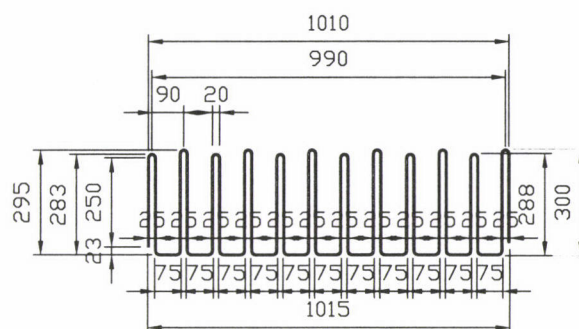


図-3 フラットパネル接続材

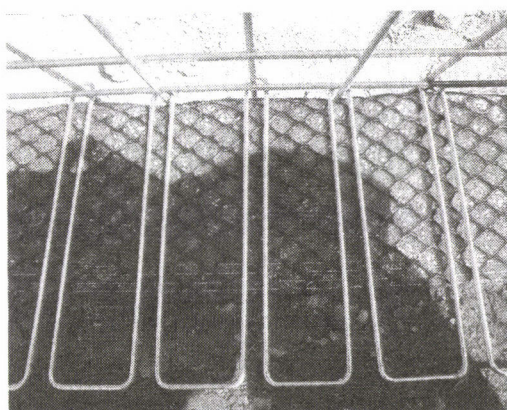


写真-2 壁面材への接続材取付



写真-3 ジオグリッド取付

ジオグリッド補強土壁の一般的な溶接金網壁面材は、縦材の間隔が40~50mm程度、ジオグリッドの網目間隔2つ分相当で製造されていることが多い<sup>2),3)</sup>。これに対して、フラットパネル壁面材は縦材の間隔が約80~90mmであり、一般的な壁面材の間隔の2倍で製造されている。このため、使用される縦材の重量を削減することができ、一般的な溶接金網のL形壁面材重量に対して60%程度の部材重量とすることができた。通常、溶接金網の強度は線材径とその本数によって決まるため縦材の本数を減らせば壁面材の剛性も小さくなり、縦材の本数を通常の約半分とすると、溶接金網の強度も約半分となる。この点を克服するため、フラットパネルは壁面材の横材に対して縦材を表裏面の交互に配置した。この「縦材が千鳥配置された3次元構造」によって、部材自体の強度向上を図り、壁面材同士の接合を行っている。

### 3. 曲げ強度確認試験方法

フラットパネル壁面材は3次元構造であるため、一般の溶接金網とは異なる強度特性を有する。写真-4にフラットパネルに用いた基本構造の曲げ強度試験状況を示した。

このフラットパネル試験体は、図-4のように縦材を間隔90mmで11本、単位質量5.8kg/m<sup>2</sup>(以下、縦材千鳥配置試験体)となるよう作製した。また、比較のため、図-5に示すような1枚あた



り縦材間隔 45mm で 23 本、単位質量  $8.1\text{kg/m}^2$  (以下、縦材一様配置試験体)となる試験体も作製し、曲げ強度試験を実施した。これら試験体作製には同じ製造ロットから採取した線材を使用し、強度のバラツキや相違がなるべく小さくなるよう配慮した。線材の規格は軟鋼線材 SWRM(引張強さ  $660\text{N/mm}^2$ )であり、直径 6 mm(実測値 5.97mm)である<sup>4)</sup>。

計測用歪ゲージは図-4、図-5 に示した位置に貼り付けた。各ゲージは 1 箇所あたり表裏 1 対となっており、各々個別に歪みを計測しているため、各所の引張り並びに曲げの状態を比較することができる。

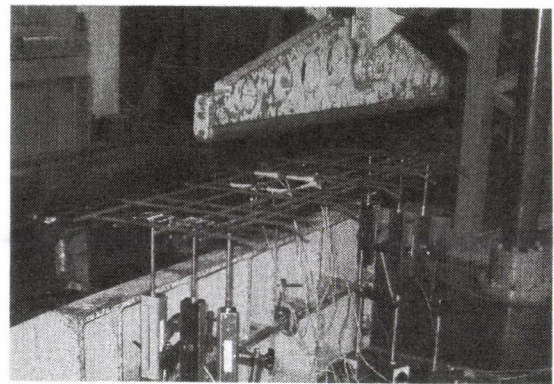


写真-4 壁面材の曲げ強度試験

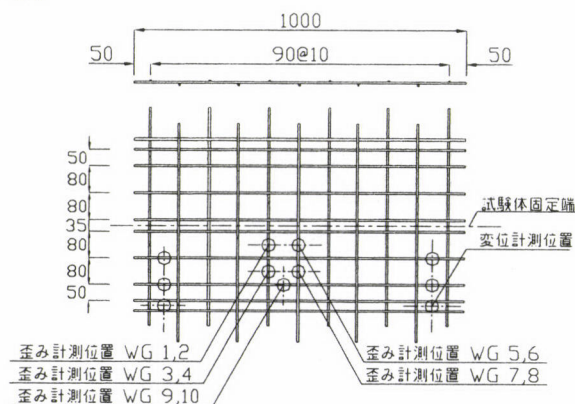


図-4 縦材千鳥配置試験体

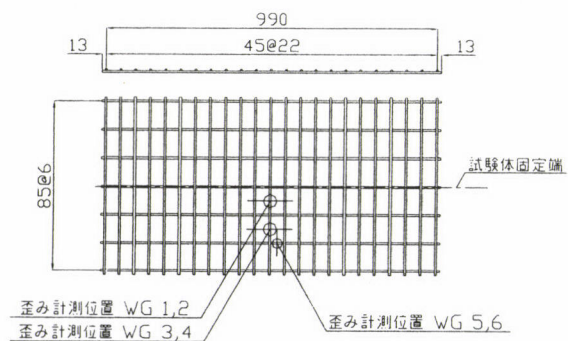


図-5 縦材一様配置試験体

それぞれの試験体を片持ち式に固定した後、図-6 に示す位置に集中荷重を載荷して曲げ強度を確認した。試験体の固定端から荷重載荷位置までの距離は 240mm である。荷重、変形量と線材の歪みを計測しつつ、壁面材が降伏点に達するまで荷重を載荷した。また、試験終了後の除荷状態において壁面材に生じた残留変形も計測した。

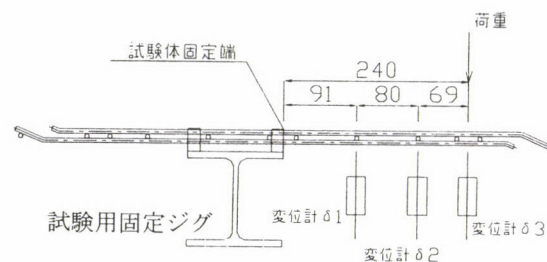


図-6 試験体の設置と荷重載荷位置

#### 4. 曲げ強度確認試験結果

図-7 は壁面材に載荷した荷重と鉛直変位量を示している。図-8 は、載荷した荷重を縦材 1 本当りの荷重で表している。図中の  $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$  は変形計測点を示しており、縦材一様配置試験体は各々、固定端から 103mm、188mm、240mm の位置であり、縦材千鳥配置試験体は、91mm、171mm、240mm の位置である。

荷重のピーク値は、縦材千鳥配置 1.75 kN、縦材一様配置 2.24 kN となった。これを 1 本当りのピーク値であらわすと縦材千鳥配置  $0.159\text{kN/本}$ 、縦材一様配置  $0.097\text{kN/本}$  となる。

荷重載荷位置  $\delta 3$  でのピーク値に対する鉛直変位は、縦材千鳥配置 93.23mm、縦材一様配置 103.87mm となり、縦材千鳥配置の方が小さな変位で荷重のピーク値をむかえている。

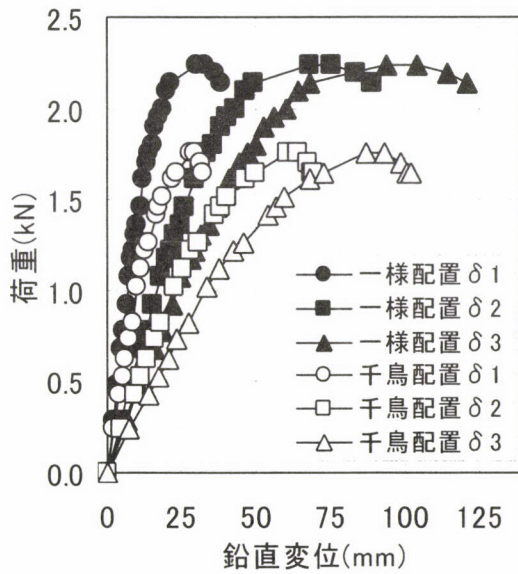


図-7 荷重と変形量

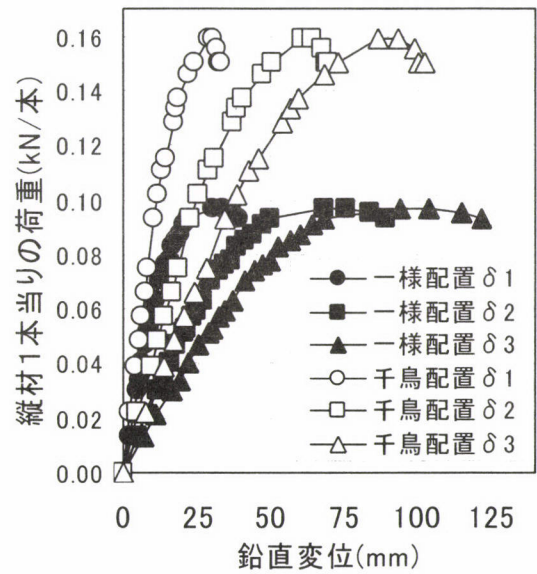


図-8 縦材1本当り荷重と変形量

図-9 は縦材千鳥配置試験体の鉛直変位( $\delta 3$ )に対する歪みを示している。このグラフで WG1・2 と WG3・4 のゲージは試験時に横材に対して下側となった縦材に貼り付け、WG5・6 と WG7・8 のゲージは上側となった縦材に貼り付けた。また、WG1、WG3、WG5、WG7 はそれぞれ縦材の上面に貼り付け、WG2、WG4、WG6、WG8 は縦材の下面に貼り付けたゲージである。WG9・10 のゲージは横材に貼り付けた。

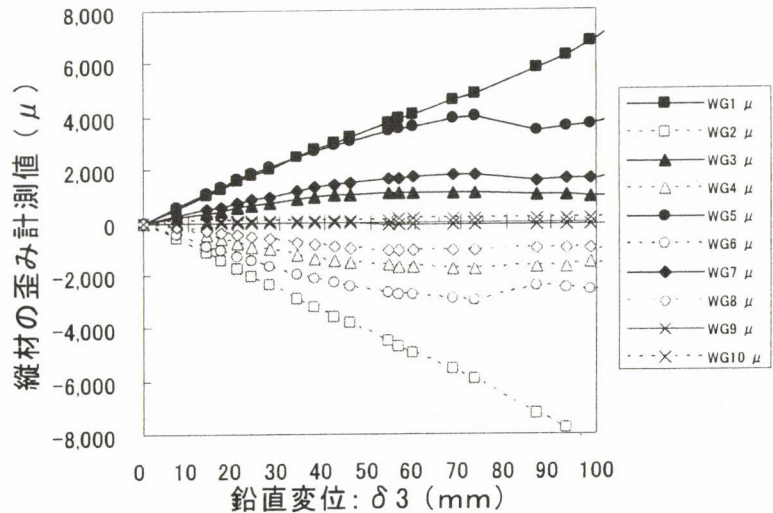


図-9 縦材千鳥配置試験体の歪み計測値

図-10 は縦材一様配置試験体の鉛直変位( $\delta 3$ )に対する歪みを示している。このグラフで WG1・2 と WG3・4 のゲージは縦材に貼り付け、WG5・6 のゲージは横材に貼り付けた。また、WG1、WG3 はそれぞれ縦材の上面に貼り付け、WG2、WG4 は縦材の下面に貼り付けたゲージである。

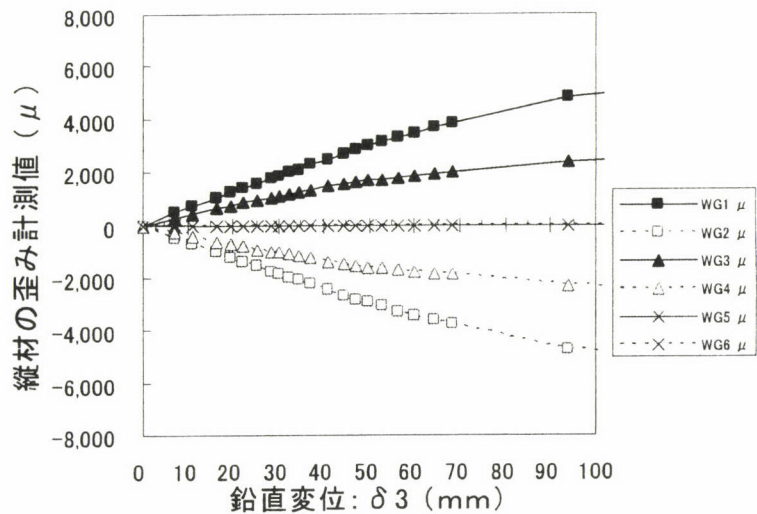


図-10 縦材一様配置試験体の歪み計測値

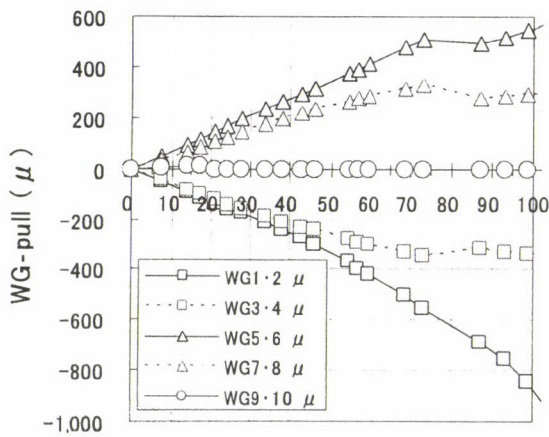


いずれの試験体も、縦材の歪みは鉛直変位の進行とともに大きくなり、上面側は引張り、下面側は圧縮となっている。また、固定端に近い箇所の歪みが大きく、固定端から遠い歪みが小さくなっている。横材の歪みはほとんど変化していない。

ここで、各縦材に貼り付けた1対の歪ゲージのうち、試験時に上面となっていた歪ゲージの値を  $WGu$ 、下面となっていた歪ゲージの値を  $WGd$  とし、この1対の値から  $WG\text{-pull}$  と  $WG\text{-bend}$  を式(1)、式(2)のように定義する。今回の試験結果の場合、 $WG\text{-pull} > 0$  は部材の引張り状態、 $WG\text{-pull} < 0$  は圧縮状態となる。また、縦材に貼付けたゲージのデータが  $WG\text{-bend} > 0$  となるときは上に凸の曲げ状態となっていることを示している。

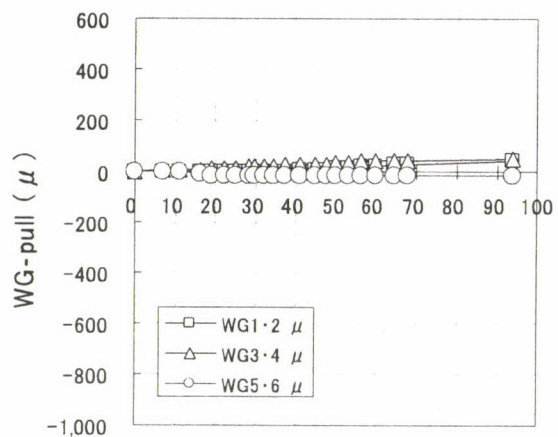
$$WG\text{-pull} = (WGu + WGd) \div 2 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$WG\text{-bend} = (WGu - WGd) \quad \dots\dots\dots (2)$$



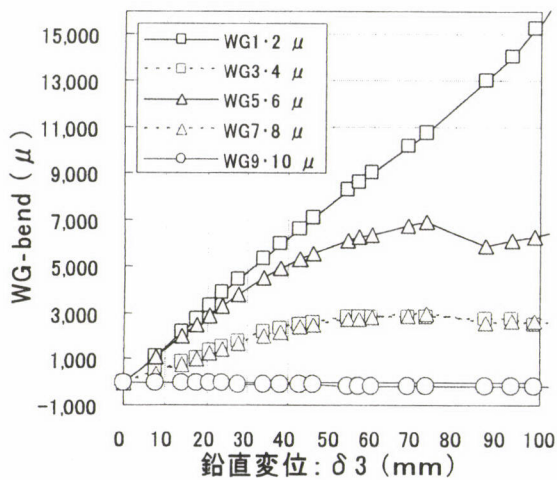
鉛直変位:  $\delta 3$  (mm)

図-11 縦材千鳥配置試験体の引張状況



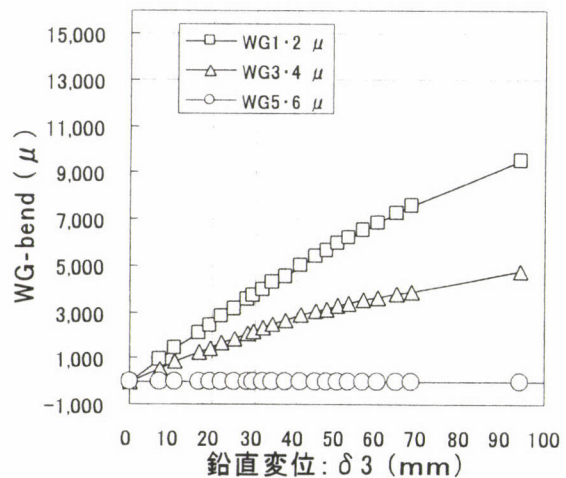
鉛直変位:  $\delta 3$  (mm)

図-12 縦材一様配置試験体の引張状況



鉛直変位:  $\delta 3$  (mm)

図-13 縦材千鳥配置試験体の曲げ状況



鉛直変位:  $\delta 3$  (mm)

図-14 縦材一様配置試験体の曲げ状況

図-11 と図-12 は、計測された歪み値の式(1)の結果をグラフ化したものである。図-11 は縦材千鳥配置試験体の計測データ、図-12 は縦材一様配置試験体の計測データを用いている。図-13 と図-14 は、計測された歪み値の式(2)の結果をグラフ化したものである。図-13 は縦材千鳥配置試験体の計測データ、図-14 は縦材一様配置試験体の計測データを用いている。

図-11 によれば、縦材千鳥配置試験体の縦材引張歪みは鉛直変位とともに大きくなっている。特に試験の際に下側となっていた縦材の  $WG1.2$  と  $WG3.4$  は圧縮を示し、上側の縦材は引張り



なっている。これに対して、**図-12**の縦材一様配置試験体では鉛直変位が増加しても値は微増にとどまっている。**図-13**、**図-14**を比較すると、縦材千鳥配置試験体の上(引張り)側縦材は縦材一様配置試験体の縦材より大きな曲げとなっており、縦材千鳥配置試験体の下(圧縮)側縦材は縦材一様配置試験体の縦材より小さな曲げとなっている。

横材に張り付けた歪ゲージの計測値は、縦材一様配置、縦材千鳥配置のいずれにおいてもほとんど変化していない。これは、縦材千鳥配置試験体では横材の変形の変曲点にゲージを貼り付けたため、計測値が変化しなかったことが考えられる。

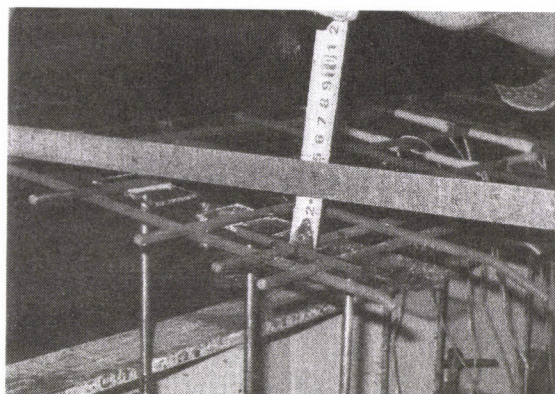


写真-5 縦材千鳥配置の残留変形

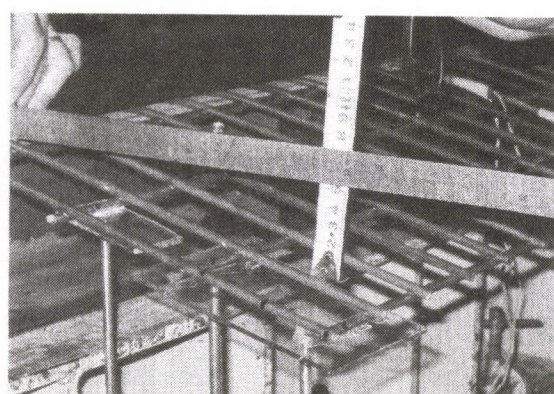


写真-6 縦材一様配置の残留変形

**写真-5**は除荷後の千鳥配置試験体に残った残留変形を計測した写真である。計測した位置は固定端より210mm、変形量は29mmである。また、**写真-6**は同じく一様配置試験体の残留変形である。固定端より210mmの位置で、変形量53mmとなった。

以上のことから、縦材の千鳥配置は、一様配置に比較して縦材1本当りの分担荷重が大きいにも係らず、残留変形を小さくする効果がみとめられた。

### 5.3 次元効果の考察

一般の溶接金網の曲げ強度は縦方向の線材1本々々の強度によって決定される。これに対し、縦材千鳥配置された溶接金網は、横材に対して片面側の縦材が引張り材、他方の縦材が圧縮材となって強度を発揮すると考えられる。**写真-7**に示すように、縦材千鳥配置試験体は曲げ試験時に横材が波打つ変形を示しており、この現象は現場計測の横材歪み計測値からも確認された。このことから横材が壁面の曲げに対する強度向上に寄与していることがうかがえる。

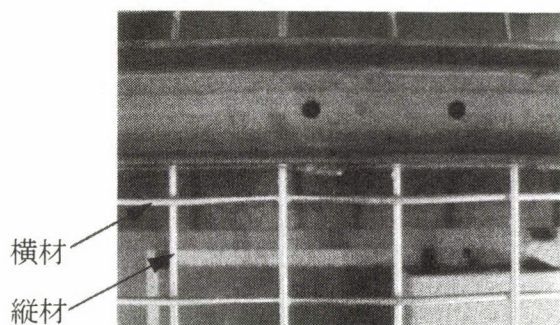


写真-7 横材の波うち

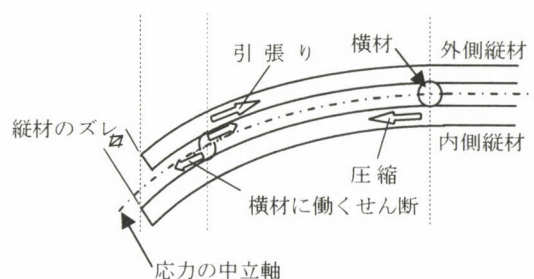


図-15 曲げ試験時の応力

これらの現象から、縦材千鳥配置の構造は3次元構造によって**図-15**のように「横材を挟んでそれぞれの側にある縦材が横材を介して引張りあるいは圧縮を負担」し、その結果、壁面材の強



度および曲げ剛性の向上を生じていると考えられる。

## 6. 壁面材の挙動計測

写真-8である。このジオグリッド補強土壁は最大壁高4.1m、壁延長42.0m、壁面積114.8㎡であり、ジオグリッドは一軸延伸タイプのものを使用した。盛土材は砂質土を購入して用いている。

この擁壁では図-16の位置で壁面の歪みを計測した。この計測においては、盛土側から見て図-17のように歪みゲージを配置した。縦材については前述の強度試験同様とし、横材は歪みゲージを横材1本当たり2箇所(縦材間の1/3の位置)で計測した。

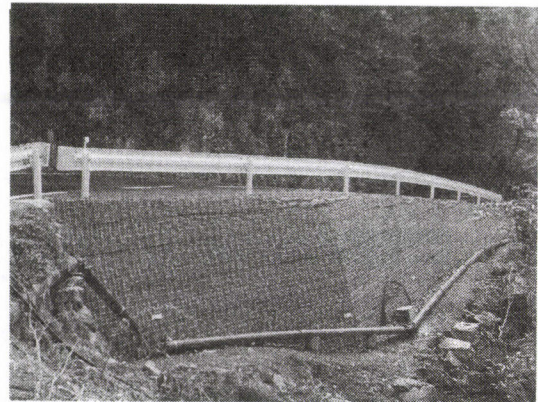


写真-8 ジオグリッド補強土壁の計測

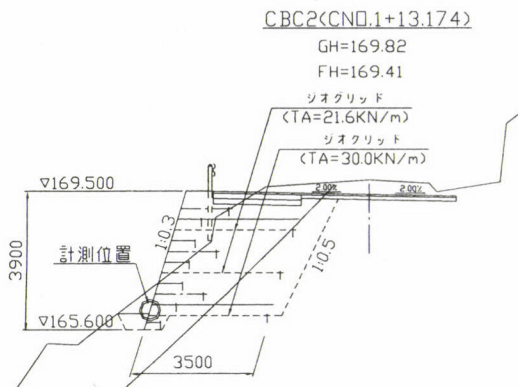


図-16 計測位置

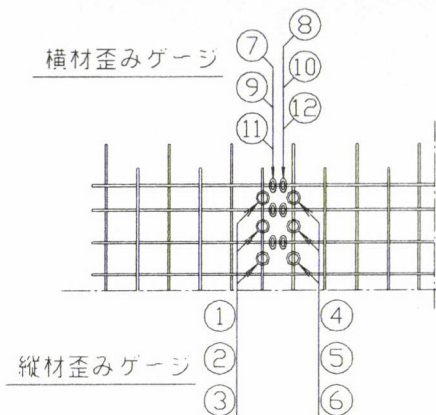


図-17 歪みゲージの張り付け位置

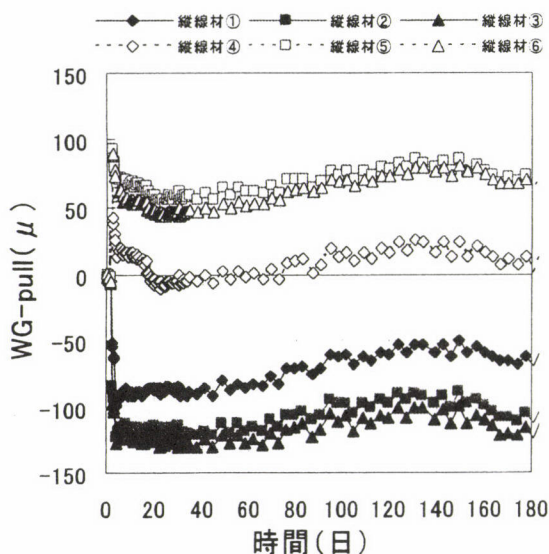


図-18 縦材の引張り状況

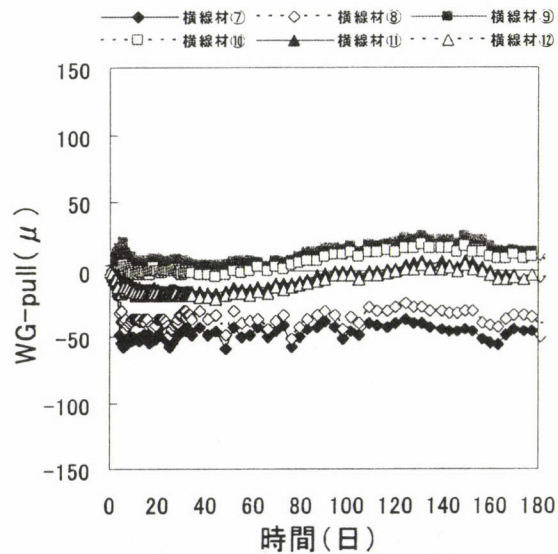


図-19 横材の引張り状況

図-18、図-19のグラフは、歪みゲージの計測値を式(1)で表した値を縦軸に示し、横軸は歪みゲージを貼り付けた壁面材を設置してからの時間(日数)である。このグラフによると、縦材の引張り(圧縮)は①～③は圧縮、④～⑥は引張りとなっており、横材を挟んでそれぞれの縦材が引張

りと圧縮を分担するという室内での試験結果と一致する。また、横材の引張り(圧縮)は、⑦⑨⑪と⑧⑩⑫で左右対称となっている。

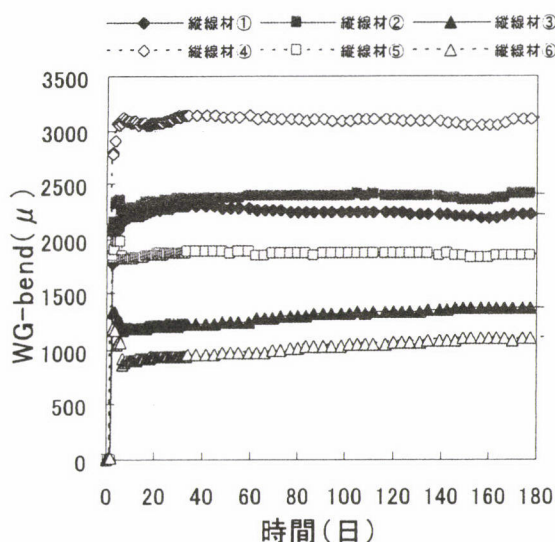


図-20 縦材の曲げ状況

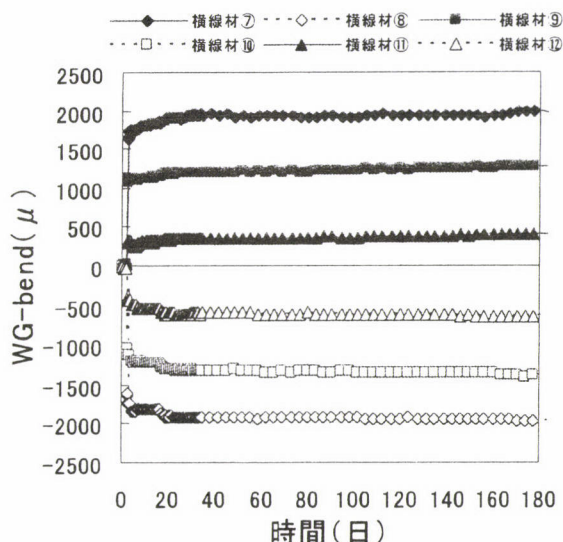


図-21 横材の曲げ状況

図-20、図-21 は歪みゲージの計測値を式(2)で表した値を縦軸、横軸に時間を示したグラフである。特に横材の場合、⑦⑨⑪と⑧⑩⑫の計測位置では曲げ方向が逆転し、圧縮側で上に凸、引張り側で下に凸となっている。このことから、試験室での横材の歪み計測値がゲージを変曲点(縦材間の中点)に貼り付けたためであることが裏付けられた。この計測により実際の現場においても横材が縦材間で波うち現象を起こして3次元構造の効果を発揮していることが確認できた。

## 7. おわりに

フラットパネル壁面材は施工途中での安全性、壁面材の軽量化、経済性等を目的として開発されたものであり、これらの目的を達成するために3次元構造が採用された。強度試験を実施した2つの試験体を比較すると各々の横材の変形状況に相違が見られ、縦材一様配置試験体の横材は変形も小さく壁面材自体の曲げ強度に寄与していないと判断されたが、縦材千鳥配置試験体の横材は前述のように縦材間で波うち、縦材相互間を連結して強度発現に寄与していることが明らかとなった。また、残留変形の計測結果より、3次元構造は部材強度の確保だけでなく、降伏後の壁面の残留変形に対しても優れていることを確認した。

今回、壁面材の強度試験と現場での歪み計測により千鳥配置壁面材が実用上有効であることを確認したが、同時に横材の変形にともなう縦材断面間の位置ズレや間隔ズレが発生することも明らかとなった。よって、縦材千鳥配置による強度改善メカニズムについては3次元 FEM 解析等横材変形を考慮する評価方法により、本壁面材のさらなる合理化が可能であると思われる。

### <参考文献>

- 1) ジオテキスタイルを用いた補強土の設計施工マニュアル(ジオテキスタイル補強土工法普及委員会)：土木研究センター
- 2) 土木系技術・技術審査証明報告書 盛土補強用ジオグリッド アダム G タイプ：土木研究センター
- 3) 土木系技術・技術審査証明報告書 盛土・地盤補強用ジオグリッド テンサー：土木研究センター
- 4) JIS-G-3532:2000 「鉄線 Low carbon steel wires」