

耐震岸壁のソリューション

(Dr.Osamu Kunita 201103/03)

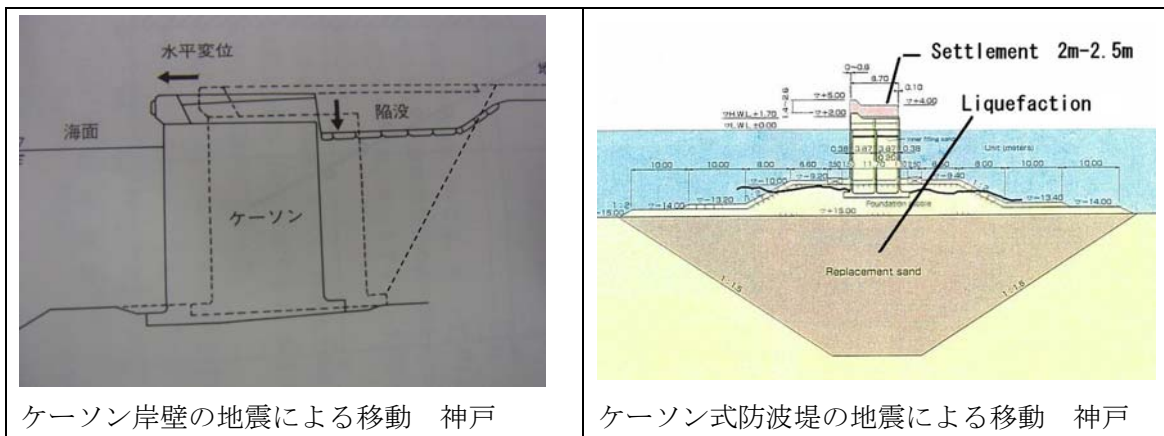
私は 1995 年の神戸の地震を経験して、これまで設計に使われて来た「物部の地震時土圧」が激しい地震に対して当てはまらないことを知りました。あの地震では、神戸港のケーソン岸壁が、海に向かって大きく押し出され、ガントリークレーンは、また裂き状態で崩壊したのです。



神戸の岸壁の移動とガントリークレーンの倒壊

「地震に対して壊れにくい構造物を設計するには、静的な土圧公式に頼ってはいけない。揺れの性質を知り、地震の性質に対応した設計を行わなければいけない。」
そう実感したのでした。

注目すべきは、港の構造物の種類によって、ダメージの状況が異なるという点です。岸壁のケーソン堤体は、海に向かって2～3m前に押し出されましたが、防波堤のケーソン堤体はそのままの位置に留まっています。しかし、鉛直方向には2.5mほど沈下しました。



ケーソン岸壁の地震による移動 神戸

ケーソン式防波堤の地震による移動 神戸

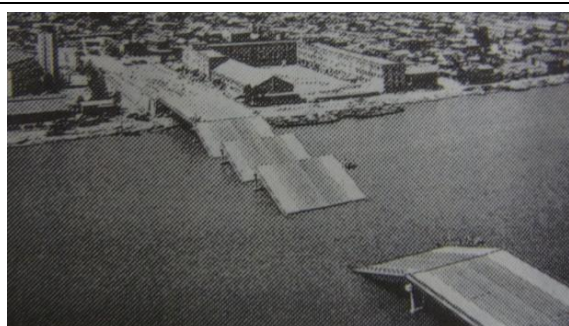
神戸の岸壁のタイプはケーソン式で、云わば、ケーソンが石のマウンドに載っていただけの構造でした。そこで地震が起き、背後の土がケーソンを強く押したので、ケーソンは大きく前に押し出されました。

一方、防波堤のケーソン堤体が水平方向に移動しなかったのは、防波堤は岸壁と異なり、背後には土がないので、背後から大きな力を受けなかったのです。作用するのは、足元の地盤からの摩擦力だけです。地盤が液状化したので、足元の摩擦力は激減したに違いありません。そのために、ケーソンは自らの慣性によって、水平方向には殆ど移動せず、液状化した置き換え砂に沈む格好で、鉛直方向に変位したのでしょう。

私の理解した地震の主な特徴は以下の4点です。

1. 液状化がおこると、見た目には「こんにやくゼリー」のように、土がぶよぶよした状態となる。液状化状態の時は、地面に接している物の比重の重いものは沈み、地中にある軽いものは浮く。液状化の終わりごろ、噴泥とよばれる泥水の自噴が起こり、舗装面が泥水で覆われる一方、地表面は沈下する。
2. 重力式岸壁の場合、地震時、背後の土がケーソンを押し出す力は非常に大きいので、あたかもケーソンが放り出されるような感じで岸壁が飛び出してしまう。
3. 防波堤の場合、質量の大きい堤体が、砂の地盤に乗っているだけだから、背後から土圧を受けないので、ケーソンは慣性の法則によって、その場にとどまり、ほとんど横移動しない。
4. 鉛直方向の加速度による力は無視できない。重いものを支える柱は、鉄筋コンクリートの場合、ばらばらの豆状になり破壊し、スチールの円形柱の場合、節のようなふくらみの坐屈が生じる。

1964年の新潟地震のとき、昭和大橋が落下したのは、地盤の液状化が起こり、こんにやくゼリーの中に橋脚が立っているような状態になって、橋脚が大きく揺れたことにより、桁が橋脚から外れて落ちたものと推定できます。



昭和大橋 新潟地震



昭和大橋 新潟地震

1983年の日本海中部地震（秋田の地震）では、岸壁上に駐車してあったトラックが地面に

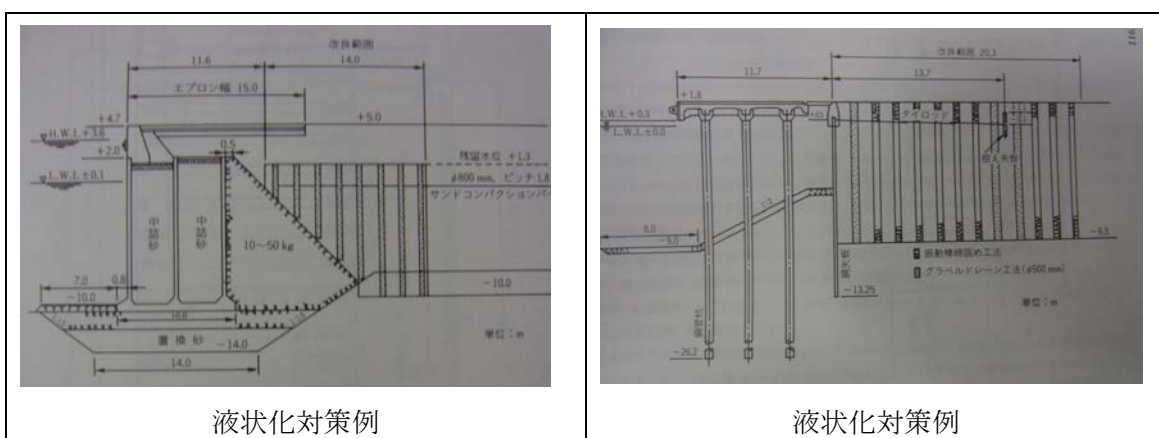
めり込んでいました。トラックが土にめり込んだのは、付近で噴砂現象が見られたことから明らかのように、液状化が起こったためです。

秋田の岸壁の構造は、シートパイルで土留め壁をつくり、そのシートパイルを、鉄の丸棒（タイロッド）で背後の「控え直ぐい」に引止めた構造でした。このため、重力式岸壁のように岸壁が前に大きく飛び出すことはなかったのですが、土留めにつかっていたシートパイルが曲がったり折れたりしました。



秋田の地震は神戸の地震より前のことでしたが、岸壁が壊れて、使用不能になったために、物流が妨げられ、大きな経済的なロスが発生しました。結果、運輸省は全国の港で、各港で1～2箇所、耐震強化岸壁をつくることとしました。耐震強化岸壁のコンセプトは、液状化対策でした。

液状化対策工法は、砂を締め固めたり、透水性のよい砂利のくいを地盤に形成することでした。



1988年ころ、私が境港に居たときに、境港の岸壁を耐震強化したことがあります。境港の管理組合の事務局長さんが私に、もともと設計基準に基づき「耐震設計」をしているのに、「耐震強化岸壁」と称して岸壁を改良するのは「おかしくない？」という皮肉とも、疑問ともつかない感想を私に対して述べておられたことを思い出します。もし、設計公式が正しければ、確かに事務局長さんの云う通りです。しかし、残念ながら、物部の土圧公式に

よって見積もられる地震時の土圧は、実際に地震が起きた時に、ケーソンが背後の土によって押しだされる力に比べて小さいのです。

境港では、その後、西暦 2000 年に鳥取県西部地震マグニチュード 7.5 を経験します。このとき、漁港の岸壁や、魚市場の建物は液状化によって大きく壊れました。しかし、強化岸壁をはじめ、多くの商業岸壁は無事でした。ただし、そのことを手放しでほめることはできません。商業岸壁が無事だったすべての理由が液状化対策に帰着できるわけではないのです。地震の揺れの向きが、岸壁の水際（みずぎわ）線と平行方向だった場合には、岸壁を強く押し出す力が発生しないのです。

神戸のケーソン岸壁の背後の土は「まさ土」といわれ、液状化はしましたが、液状化しにくい種類の土が使われていました。ですから、逆に、液状化しにくい土であるがゆえに、ケーソンを押し出す力が大きかったとも考えられます。

神戸港の岸壁の場合、ケーソンが海に大きく押し出された場所（およそ、2m）では、ケーソン背後の地盤も 2 メートルほど沈下しています。すなわち、沈下部分の体積と、ケーソンが滑ることにより作りだされた空間の体積はほぼ同じです。これに対して、地震の揺れの方向が海の方でなく、岸壁に平行な場合など、ケーソンが海に押し出されていない場所では、70センチ程度の沈下しか起こっていません。つまり、ケーソン背後の沈下は、液状化による沈下分が 70センチ、ケーソンの移動により作りだされた空間を背後の土が埋めたことによる沈下が 2 メートルです。また、岸壁背後の陥没は、土の主動崩壊面のあたりから始まっています。

液状化が起こると、トラックなどは土にめり込んでしまうし、重い鉱石などを収容した上屋倉庫などは見るも無残に沈下し、へこんでしまうので、液状化対策抜きでは、港湾の地震対策は成立しません。しかし、地震に強い構造物を建設するには、液状化対策だけでは十分ではありません。後で見るように、免振的な構造形態をとりいれなければなりません。

岸壁の対地震設計法

物部の地震時土圧式の長所を上げれば、莫大なコストをかけないで、ある程度信頼できる構造物を建設できる特徴があり、それが日本の戦後復興を可能とするなど、大きな役割を果たしました。

実は、ポートアイランドを建設した 1960 年代は、絶対壊れないものを作っておくほど国民は豊かではありませんでした。

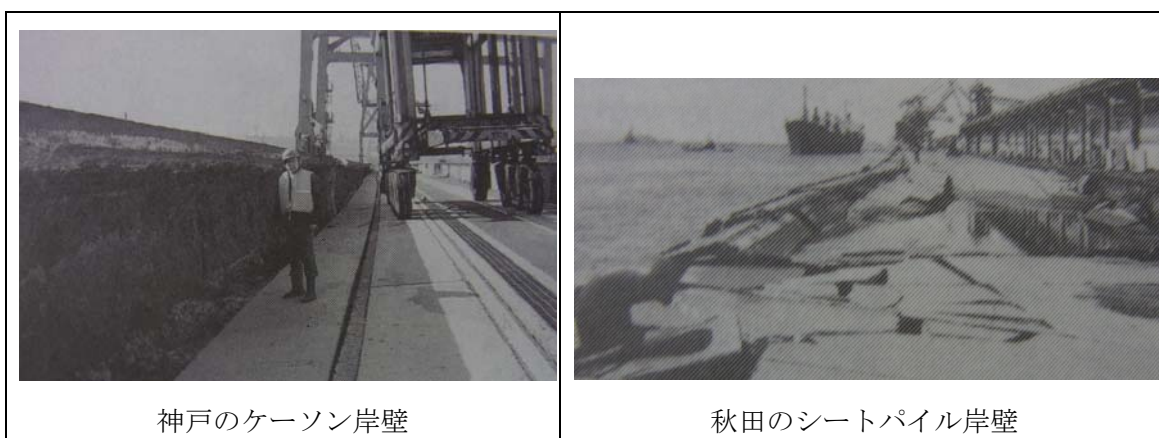
しかし、今や日本の経済活動の規模は大きく、岸壁が利用できなくなると、大きな損失が生じます。ですから、たとえ大きなコストを負担したとしても、地震に対する対策が必要です。

でも、どうすれば十分な備えをもった構造物を作ることができるのでしょうか。物部の地震時土圧計算の時、震度係数を大きく取れば事足りるのでしょうか？

これを考えるには、構造物がどのようにして壊れたか、どの程度壊れたか、どんな構造物が地震につよかったか、などを踏まえておく必要があります。

神戸の岸壁のタイプはケーソン式で、云わば、ケーソンが石のマウンドに載っており、ケーソンの背後は土で埋められていました。そのような状態で、地震の際には、背後の土がケーソンを強く押したことにより、ケーソンは大きく滑って前方に移動したのです。

秋田の岸壁は、根入れのある鋼矢板形式であったので、岸壁は壊れましたが、大きくは移動しませんでした。



使用不能という点では神戸のケーソン岸壁も、秋田のシートパイル岸壁も同じですが、神戸のケーソン岸壁は大きく前に押し出されたので、岸壁のガントリークレーンが股裂き状態になりました。このため、港が長期にわたって使用不能となりました。ですから、岸壁が大きく前に押し出されるような、従来の重力式構造は避けなければなりません。また、仮にケーソンが動いたとしても、ガントリークレーンが股裂きにならないような工作がなされていなければなりません。

神戸の地震のとき、鉄道の技術者が、「テールアルメ」の土留めは、地震でもやられなかった、と話してくれました。「テールアルメ」は直立壁の土留めです。「テールアルメ」はパネルとジオテキスタイルの控えで出来ており、パネルとジオテキスタイルと土の層を何段も重ねて作るので、多分、ネバイ感じの土となって、地震に耐えたのでしょう。「テールアルメ」は、フランス発の技術ですが、その性能の優秀さに脱帽です。思えば、フランス人の構造に関する洞察力は非凡なものがあります。エッフェルが建設したエッフェル塔、フレシネのプレストレス工法、海岸ではテトラポッドがフランス発の技術です。「テールアルメ」は耐震設計の一つの解答に違いありません。

1923年の関東大震災のときに壊れなかった橋梁タイプが、アーチ式だったことから、新潟の万代橋もアーチ式で建設され、1964年の新潟地震のときに壊れずに耐えたことも思い起こす必要があるでしょう。

今後の設計には、これらの経験を生かすべきです。すなわち、地震の作用のもとで、移動

量の少ないことを目指すには、根入れのある構造物、控えのある構造物を採用すべきです。しかし、ケーソン式岸壁のような質量の大きいものを地盤に固定するのは大仕事のように感じます。ケーソン式の場合、背後の土を取り除き、地盤だけが勝手に揺れ、ケーソンは静止しているというような、免振的な構造形式を採用することのほうが無理がないように感じられます。



以上の過去の地震経験を総括し、地震につよい岸壁設計の要点を並べてみると、以下のようになります。

- (1) 基礎付近は液状化しないように地盤を改良すること
- (2) 岸壁背後に土圧をかけないこと
- (3) 土留めは、「斜め壁」とすること
- (4) 構造物は「根入れ」を持たせること、
- (5) または、免振的な方式とすること
- (6) 土留めのブロックは、繋ぎロープやジオテキスタイルなどでもって止めること

更に、地震後も岸壁が利用可能であるためには、

- (7) 股裂き状態にならないように、岸壁の2本のクレーンの基礎を繋ぎ材で相互に繋ぐこと

- (8) 作業ヤードは液状化しないように地盤改良しておく
などが必要です。

また、ガントリークレーンが壊れないためには、

- (9) ガントリークレーンに、免振構造を導入すること
なども必要です。

岸壁に土圧をかけないためには、岸壁背後の土を取り除いて、背後は斜面にするのが最も合理的です。その斜面をくずれ難くするには、ブロックで斜面を押さえるといいでしょう。

お城の石垣の勾配は（約45～60度）程度ですが、過去の経験から見て、かなり安全に斜面を抑えると考えられます。ですから、非常に強い地震を想像する場合、斜面の勾配は、おおむね45度とするのが好ましいと思われます。

斜面を抑えるブロックは斜めに積むのが適切ですが、階段状に積んでも一定の効果は期待できるでしょう。もし、繋ぎロープやジオ・テキスタイルなどを使って、ブロックを引き止めるとすれば、もっと信頼性はあがるでしょう。

このような方策が初期投資のコストを上げるとしても、本当に耐久であるなら、その値打ちはあると考えられます。私の第六感では、初期投資が、これまでの2倍となっても、値打ちがあるように感じます。もし、構造物が壊れることを防止できれば、港が長期間閉鎖された場合の損失を防止できるからです。



富士見櫓

富士見櫓は、江戸城本丸では現存する随一の櫓で、遺構の中では最も古いものに建築され、関東大震災で倒壊、大破したが、その後、主要部材に旧来の材料を用いて再建されている。石垣は主に伊豆の自然石でこのあたりの石垣の積み方は初期の打ち込みはぎで「野づら積み」で、自然石をそのまま積んでいるため、乱雑ですき間が多く崩れそうに見えるが、積み方としては水はけもよく、堅牢。関東大震災でもまったく崩れなかったとされる。この石垣を作ったのは主に加藤清正公と言われている。

石垣の高さは約14.5メートル、櫓の高さは約15.5メートル。

ここで、技術者のみなさんは、構造計算はどうやってやるの？という疑問を抑えきれないかも知れませんね。日ごろ、技術者のみなさんは、構造計算や安定計算をやっているので、数字がなければ、非常に不安に感じることでしょう。

実は、「静的なつり合い」の式では、地震の問題は解けません。静止している物体は、力が

つり合いの状態となっています。地震では、つり合いが破れ、一方の力が他よりも大きくなり、その状態が、ある時間継続するので、物体が移動するのです。肝心なことは、その不釣り合い状態における、物体の運動を知ることが、地震につよい構造物の設計に必要なのです。

地震時の構造物の挙動を解析するのは、実は簡単です。 $\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$ の関係によって、物体の運動を追跡すればいいのです。上記の式は、ある質量をもった物体に、微小な時間、ある力が働いた時の、物体の速度変化（加速度）を教えてください。

我々は、地震時の地盤振動を測ることができ、過去の地震波形を知っています。ですから、岸壁構造のような、構造が簡単なものは、震度法に依らず、いきなり、「 $\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$ 」 の関係で力や運動を追跡することができます。設計に使用する地盤振動は、実用上、神戸の地震程度の大きさ、つまり、「振幅 50cm、周期 1 秒」と考えればよいでしょう。でも、それが絶対ではありません。地震が直下でおこれば、神戸の地震の数倍の「振幅・周期」だって起こるのです。ですから、地震の規模想定もさりながら、想定以上の地震が来た時にも、ある程度の安全装置が働かなければなりません。その意味で、免振を図るのは重要です。仮定の計算なのに、数値を固定的に考えて、等号（=）だけに頼りきってはいけません。免振を図り、想定以上の地震がきても、壊れにくい構造とすることこそ重要です。

これまでの岸壁の構造様式では、岸壁背後には土があります。そのような構造物に地震が作用するときの力は次のようになります。

- (1) 地盤振動の最大の加速度は、振動の方向を変えるときに発生します。言い換えれば、「しゃくる」時に最大の加速度が発生します。ですから、シートパイル方式の岸壁を引きとめているタイロッドにかかる力は、「 $\text{力} = \text{質量} \times \text{加速度}$ 」で作用力を算定できます。
- (2) 上記の式における**質量**は、背後に土のある矢板の場合、背後土の範囲も含めたものです。背後土の範囲は「主動崩壊角」の範囲と考えればいいでしょう。**加速度**は、観測値そのもの（例えば、1.4 gal など）で結構です。しかし、モデル化し、例えば、サインカーブに当てはめるなら、加速度は $a\omega^2$ です（ a は振幅、 $\omega = 2\pi/T$ です）。（ちなみに、 $a=0.5\text{m}$, $T=1\text{sec}$ と云うのは、2.0gal に相当します。）
- (3) 1994 年のアメリカのロサンジェルス地震の翌年に、神戸の地震が起こり、その後数年たった 2000 年前後に東京でアメリカの研究者と日本の研究者で地震の解析に関する発表会がありました。私は、発表を聞いたのですが、アメリカの研究者は、地震時に矢板にかかる土圧分布を、じょうごのような逆三角形が正しいと考えていることが分かりました。日本では、言うまでもなく、ヨットの帆のような三角形分布

と考えているのです。どちらが近いでしょうか？

- (4) タイロッドなどで控えを取った矢板に、非常に強烈な地震の振動がかかると、土の慣性力は、重力に比べて大きくなり、崩壊斜面をずり落ちるといよりも、そのままの位置で力を水平に矢板に及ぼすことが想像されます。このとき、力の分布形状は受動崩壊角より上の土の形状に似た、じょうごのような形になることが想像されます。しかし、弱い加速度であれば、土は崩壊斜面をずり落ちようとするでしょうから、ヨットの帆のような土圧分布となりそうです。シートパイルの土留めの場合、多分、非常に強い地震の時は、通常の主動土圧（三角形分布）と、地震による加速度に基づく土の質量力（逆三角形）の和が、シートパイルにかかると考えられます。
- (5) 重力式岸壁の場合はどうなるでしょうか？はじめに、地盤の動きの方向が陸方向から海方向に代わる時、ケーソンは背後の土によって押され、それと同時に背後の土はケーソンから同じ力を受けます。（もし、ケーソンからの力が背後の土の受動土圧の限界を超えると、それ以上の力をケーソンに与えることはできません。）そして、この状態を過ぎ、地盤が海の方に運動している状態の時、地盤とケーソンは、ほとんど加速度を持たず、惰性で運動しています。
- (6) つぎに、地盤がゆれ戻るときには、地盤は加速度を持ちますが、ケーソン底面には摩擦力しか働かないので、(摩擦力/質量)以上の加速度をケーソンに与えることはできません。そのため、ケーソンは滑り、減速しつつ惰性で運動を続けます。この状態のとき、背後の土は主動崩壊斜面をずり落ちます。その状態で、ケーソン背後の土はケーソンに土圧を及ぼすわけですが、ずり落ちる斜面にそって、土を分割してみれば、下のほうが力は大きくなるのが理解できます。もし、土が液状化していれば、なおさら下が底辺となる三角形分布となっているはずです。つまり、ケーソン式の土留めの場合、地震時の土圧は下が大きい三角形分布になると考えられます。
- (7) 鉛直下向きの地震時荷重の計算にも、従来、震度法の震度係数、例えば $k=0.15$ などと使ってきました。しかし、阪神高速の橋脚は豆板のようにバラバラに破壊しました。阪急、阪神電車の高架の車庫も、軒並みつぶれてしまいました。ですから、これまで用いられてきた鉛直方向の震度係数が過小だったことが骨身にしみて理解できました。
- (8) 結局、地震時、鉛直下向きの荷重を見積もるには、地震計の記録通り、ストレートに鉛直方向の加速度を用いるのが正しいのです。
- (9) でも、単に荷重を受ける柱の断面を増やすだけの設計では、地震に対し安心な構造物はありません。それゆえ、今後の設計に於いては、免振のためのスペーサーをかませるなどして、極端に強い鉛直力が発生しないような対策が必要です。

次に、どのような設計が、地震に有効かを考察します。

矢板式構造

地震に強い岸壁構造とは、背後に土圧がかからない構造です。しかし、背後に土のない矢板を建設したとすれば、矢板は、波力を受けて、曲がってしまうかもしれないし、数年後繰り返し応力の作用によって、矢板が破断してしまうかも知れません。ですから、背後に土のない矢板構造は提案しなのが無難です。何らかの理由で矢板を提案するのであれば、背後に軽量土、または、軽量コンクリートブロックなどを埋めた構造が考えられるでしょう。

栈橋式構造

栈橋構造については、日本では、いつの間にか、栈橋を直グイのみで構成することが行われるようになりました。それは、直グイ式の栈橋は、斜グイをかませた構造の栈橋よりも建設費用が安いからです。

従来の設計を参照し、神戸の地震の揺れを用いて構造物の振動を追跡すると、かなり軽い上部工を用いたとしても、また、震度係数 0.25 程度に耐える直グイを使用したとしてもクイの内部応力度が降伏点に達してしまいます。つまり、震度法で設計した直グイ栈橋は、神戸の地震程度の揺れによって、クイが痛んでしまうのです。このとき、クイが破断しなければ、地震は前後に交互に揺れるので、倒壊はまぬがれるでしょう。でも、栈橋は建て替えを余儀なくされるでしょう。ですから、直グイ栈橋の場合、そのようにならないような方法、すなわち、「免振メカニズムの採用」が必要となります。栈橋の免振メカニズムとは、上部工とクイの接続部に、可撓性（たわむことのできる）のゴムまたは、摩擦の働きにくい鉄板などを介在させ、意識的に、接合面を滑らせてしまう、などして、クイに大きな力を及ばせない方式のことです。

重力式構造

重力式の岸壁の場合、岸壁は大きな質量をもっています。動き始めた大きな質量をもつ物体を止めることはかなり大仕事です。ですから、直立壁の背後に土圧を掛けない工法を考える方が得策と思われれます。

重力式の岸壁は、主な構造形式としてブロック式とケーソン式の岸壁が考えられます。

ブロック式の岸壁

従来の直立の土留めをやめ、傾斜面にブロックを積むものとします。しかし、船が接岸する必要があるので、岸壁は直立していなければなりません。

そこで、斜面に積んだブロックの上に別のブロックを積んで直立させます。このとき、隣接するブロックの間に、50センチ程度の隙間を作って、相互のブロックの接触を断ち、隣接のブロックから押されないようにします。本来、ブロックを斜面に積むことで、かなりの耐震性発揮できるはずですが、それに加え、斜面のブロックをジオテキスタイルまた

は、タイ・ロープ等で背後の地盤に結びつけば万全でしょう。ジオテキスタイルや、タイ・ロープなどの使用量を適切に減らすためには、ブロックを軽量化したり、ブロックを中空にするなどのことが考えられます。

ケーソン式の岸壁

ケーソン背後を土で埋めなければ、地震が起こっても、ケーソンは50センチメートル程度の範囲内に、ダルマ落としのようにその場に留まることが予想されるので、ケーソン背後を土で埋めず、45度程度の斜面で土を盛ります。しかし、そのようにするとケーソン背後は、水面となり、荷役の機械や車両が利用できません。よって、ケーソン背後の空間にステージを作ってトラックやフォークリフトなどが作業できるようにします。それには、栈橋を作ることが考えられます。もちろん、ブロックを積んでも構いません。ブロックの場合はブロック式のところで説明したのと同様、ジオテキスタイルなどで、アンカーを取り、ブロックを土に繋がります。

ケーソンとブロックの間は、50センチほど隙間を持たせ、地震時にブロックがケーソンを押し込まないようにします。

ケーソン背後の斜面に栈橋を設ける場合、上部工は、免振的な台座の上に載せます。そうすれば、クイに働く水平力を低減出来ます。また、鉛直方向の力も減少させることが出来ます。

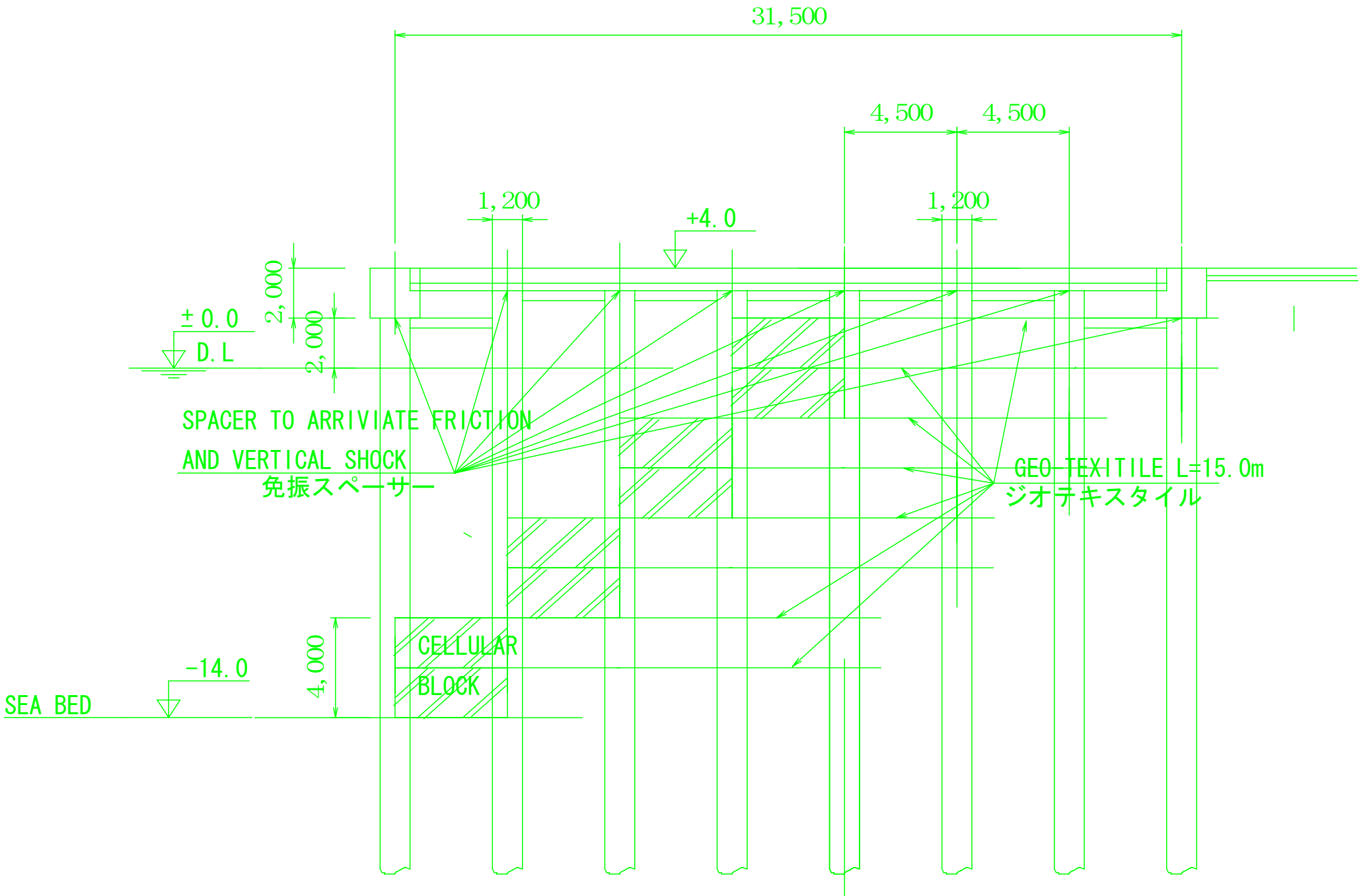
ケーソンの中詰はした方が得策です。何故なら、ケーソンを重くすることによって、船舶の衝突力や、係船ロープからの力を受け止めるメリットがありますし、地震時には慣性により、その場に留まる力も大きくなります。ただし、地震時には50センチメートル前後の移動は許容しなければならないでしょう。もし、ケーソンの中詰をしないとすれば、船舶の接岸による衝突力やロープのけん引力に対して移動しないような備えが必要となります。例えば、クイを打ってケーソンを基礎地盤に止める、背後の栈橋の上部工にケーソンをつなぐ、などが考えられます。

設計例

次ページより、具体の耐震岸壁のソリューションをお示しします。

QUAKE PROOF QUAY (PLATFORM TYPE)

Dr. Osamu Kunita --- 2011/03/03



栈橋式構造

図は直グイの栈橋である。プラットフォームは幅が3.6メートルある。31.5メートルのゲージのクレーンはスラブに完全に乗っかることのできる広さである。スラブ下とクイ頭の間には、免振のためのスペーサーが装着されている。そのために、地震時、急な地盤加速度が作用したとしても、上部工が滑って、直グイには大きな水平力が伝わらない。クレーンはほとんど静止状態で居られるし、「また裂き」被害も生じない。

船の接岸力や、係留ロープからの力は、スラブの自重で対抗する。栈橋の上部工は、足場や型枠を必要としないよう、厚さ30センチ程度の4.5 x 4.5mの鉄筋コンクリートスラブをスペーサーの上に載せて、それを足場と型枠代わりにし、その上に60センチの鉄筋コンクリートスラブを打つ。スラブには目地を設けないが、施工上、クラックが生ずるのは、免振スペーサーのたわみによるものであるから、止むをえないものとする。クレーン下にはビームが渡される。ビームの瀬高は2mとする。

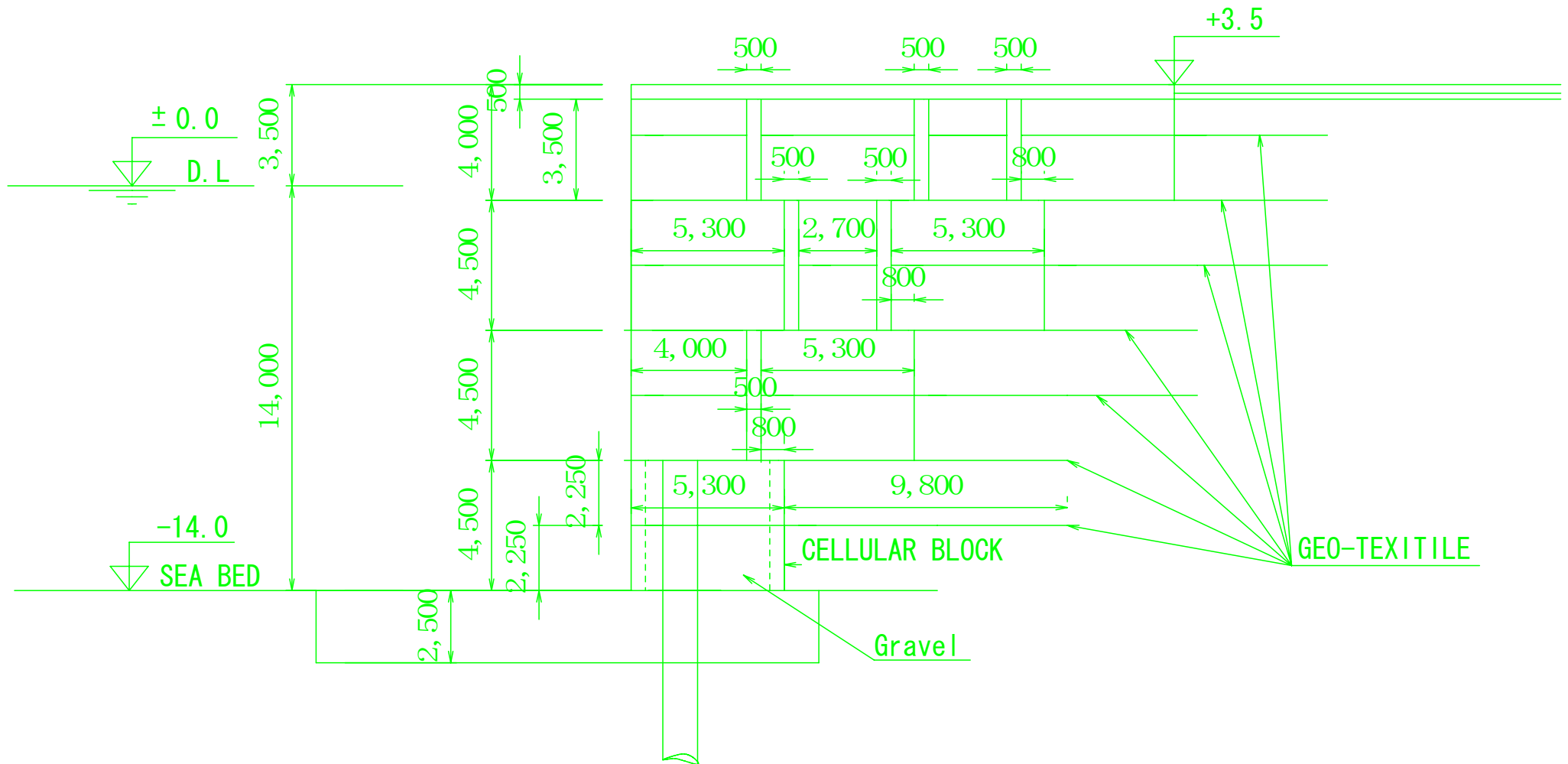
栈橋の下の斜面は、中空のセルラーブロックを積んで階段状に築堤する。この斜面は、直接波が当たるために、波に持って行かない程度の大きさのブロックを使用する。図ではセルラーブロックはクイとクイの間にはめ込まれ据え付けられる。セルラーブロックには中詰石を充填する。ジオテキスタイルは、中詰石によって、セルラーブロックと定着される。また、背後の砕石側では、砕石上面を平坦にした後、ジオテキスタイルを広げて、上の層の砕石に挟まれ、機能を発揮する。

セルラーブロックは階段1段(4.5m)につき2層とし、1個のセルラーブロックの高さを2.25mとする。そうすれば、重量を50トン以下に抑え、起重機の作業を容易にすることができる。セルラーブロックをトラックで運ぶのも容易となる。

軟弱地盤の場合、円形すべりが起こらないように、地盤改良を施すものとする。

QUAKE PROOF QUAY (BLOCK TYPE)

Dr. Osamu Kunita --- 2011/03/03



ブロック式岸壁

この岸壁は、N値で7以上程度の地盤を想定して作成したものである。

まず、ブロックを載せるベッド（捨て石：厚さ2.5m）をつくる。そして、斜面のブロックを積んでゆく。斜面のブロックの積み方は、はじめに、ブロックを1段積んで、背後を砕石等で埋め戻し平坦にし、1段目のブロックとジオテキスタイルを定着し、ジオテキスタイルを砕石の面上に広げたのち、第2段目のブロックを載せる。以下同様に、2段目のブロックとジオテキスタイルを定着し、ジオテキスタイルを砕石の面上に敷いたのち、第3段目のブロックを載せる。同様に4段まで積み上げれば、斜面は出来上がる。ブロックを階段状に積むこと自体で地震につよい構造ができるわけであるが、さらに、信頼性を高めるために、ジオテキスタイルを使用して、ブロックが散乱しないようにしている。斜面のままでは船舶が接岸して荷役を行うことができないので、岸壁として利用するために、斜面のブロックの上に、ブロックを積んで、直立壁を形成する。

積み上げるブロック相互は互いに接しないように、50センチ程度の隙間を持たせる。こうすることによって、極めて強い地震のときに、互いに力を及ぼさず、もとの位置に留まれるようにする。また、ブロックの下面には砂を敷き、滑りやすくしておくことも考えられる。そうすれば、地震時ブロックの下が滑って、ブロックはその場所に留まれる。ただし、斜面を構成するブロックは、互いに滑りにくくても支障がないので、ことさら砂を底面に敷く必要はない。最上部は厚さ50センチの鉄筋コンクリートスラブを現場打ちする。目地は設けない。

施工

図示コンクリートブロック 4.5X4X5.3m はそのままの塊なら230トン程度になる。もし、中空のブロック（セルラータイプ）とすれば、100トン程度以下となる。

さらに、高さを半分の2.25mにすれば、50トンのクレーンで施工ができる。また、そうすれば、トラックの荷台に乗せ運搬することもできる。

中空のセルラーブロックとすることで、ジオテキスタイルの端の数メートルを中空部に入れて、砕石を中空に充填すればジオテキスタイルとセルラーブロックをしっかりと定着できる。

オプション

地盤が緩い（ルーズな）場合、図示のようにクイを打って置くなどすれば、ブロックが、鉛直方向、水平方向に大きく移動しないようにできる。

地盤が軟弱な粘性土の場合には、砂杭を多数打って地盤改良するとともに、中空ブロックの中詰に軽量土を詰めるなどの工夫が必要である。

ケーソン式岸壁

この岸壁も、N値で7以上程度の地盤を想定して作成したものである。

ここで使用しているケーソンは、幅 6m、長さ 12m、高さ 16m のサイズである。もし、浮遊させて据え付けるのであれば、このケーソンは背が高いので、バラストを 1.6m 入れて浮遊時の安定を保つ必要がある。浮遊時喫水は 12.8 m となる。

空（カラ）のケーソンの重量は 770 トン、国内であれば、岸壁でケーソンを作って、起重機船で吊って据えることが多い。何故なら、フローティングドックで作ると、進水させるのに深い場所が必要であるが、起重機船であれば、単に吊って据えるだけだから、水深の制約がないし、製作も陸上でできるから容易である。

完成後、中詰や蓋コンクリート、上部コンクリートなどを含めて、全体では空中重量が 2,700 トンである。水中に据え付けた際、浮力が働くから、浮力を 1,200 トン差し引くと、1,500 トン程度の自重となる。摩擦係数が 0.6 ならば、900 トン程度の滑り抵抗を有する。大型船舶の接岸力は、フェンダー1 か所あたり 100~300 トン程度だから、背後の土が無くても、接岸力を受け止めることができる。ただし、ケーソンが揺れるようであると、まづいので、ケーソンの上部工を、栈橋の上部工に鋼材でつなぎ、ケーソンのロッキングをとめるべきである。ケーソンの背後の直グイ式の栈橋について、クイには水平荷重がほとんど作用しないように、上部工とクイ頭の間にはスペーサーをかませる。

一般に捨て石などの勾配は、1対1.5程度の勾配がないと、うまく詰めないが、図示の栈橋下の斜面は急で約45度のこう配（1対1）で立ち上がっている。このような急こう配の盛り土の施工が可能な訳は、第一に、ケーソンが波を止めておいてくれているので、スラブが波に飛ばされないから、第二に、はじめに斜面を抑えるスラブをクイに立てかけ、それを型枠のようにして碎石を入れるから、である。

斜面を抑えるスラブは鉄筋コンクリート製であり、スラブの寸法は 4.5m x 6.7 m、厚さ 40cm（重量 30 トン）である。4隅は1/4「ダ円」の切り欠きとなっている。ジオテキスタイルの端部は鉄筋と一緒にコンクリートの中に埋められている。立てかけられたスラブの背後に碎石をいれ、碎石の上面を平坦にした後、スラブに取り付けているジオテキスタイルを広げる。

第1層目のジオテキスタイルを広げおわったら、第2層のスラブを立てかけ、碎石を背後に投入し、上面を平坦にならし、第2層のジオテキスタイルを広げる。

第3層も同様に施工する。

栈橋の上部工は、足場や型枠を必要としないよう、厚さ30センチ程度の 4.5 x 4.5m の鉄筋コンクリートスラブをスペーサーの上に載せて、それを足場と型枠代わりにし、その上に60センチの鉄筋コンクリートスラブを打つ。ビームなしのスラブである。スラブには目地を設けないが、施工上、クラックが生ずるのは、スペーサーのたわみによるものであるから、止むをえないものとする。

(2011_03_03 Dr. Osamu Kunita)