

構造物の耐震性能に関する研究<社会基盤施設の耐震性能向上のために>

神戸大学都市安全研究センター 社会基盤マネジメント研究分野 長尾 毅

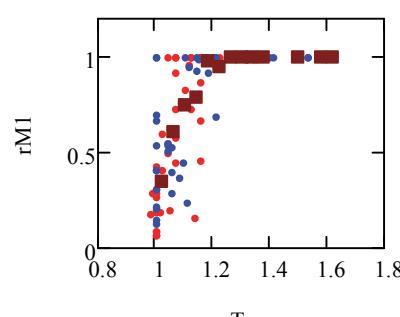
我が国の社会基盤施設の断面は、ほぼ地震時の安全性によって決まっているといった過言ではありません。耐震設計においては、建設費用を抑えながら耐震性能が確保出来るように、様々な工夫がなされています。では、もう一工夫する余地は無いのでしょうか？図1は港湾構造物の桟橋の模式図です。桟橋は骨組み構造と呼ばれる構造形式で、背後の土留めと桟橋を独立な構造にすることで、桟橋に土圧等が作用しなくなるため有利と考えられてきました。質量は上部工に集中していて、ここに地震時に慣性力が作用し、杭は地下のある地点以深では地盤に強固に支えられていて、杭に作用する曲げモーメントは杭頭で最大、地中である深さ以深はゼロになるという考え方です。このような考え方は設計に限りません。実験・研究でも多く用いられています。強固なテーブルの上に杭と上部工を模擬した試験体を作り、テーブルを振動させたり（動的実験）、上部工に水平荷重を加えたり（静的実験）して耐震性を評価することが多いです。しかし、この考え方本当に正しいのでしょうか？

1995年兵庫県南部地震で神戸港の桟橋が被災しました。その被災箇所は、杭頭部だけでなく、地中部にも及んでいました（図2）¹⁾。これはどういうことでしょうか？図1の条件では絶対に地中部で被災することはありません。

骨組みの上部工に慣性力が作用するだけという、一般的な考え方は大地震発生時には成立しないということに他なりません。桟橋は軟弱な地盤上に岸壁を建設する際に有利な構造形式です。そして軟弱な地盤は地震時には変形を起こします。変形した地盤は杭を海側へ押し出そうとします。つまり、図3のように、杭に働く地盤からの作用の方が、上部工に作用する慣性力よりも影響が強い状態が、大地震発生時には普通だということです。そうであるなら、桟橋と土留めを独立にするのが有利と言切れないのでしょうか？

単純な構造物への載荷や単純な構造物の振動ではなく、地盤震動・地盤変形と構造物の応答を、相互作用を含めて評価できる手法を用いて、各種の条件で研究を行いました（図4のように、桟橋と地盤の両方をモデル化します）。その結果、通常考えもしなかったことですが、桟橋と土留めを結合した方が独立な条件よりも有利な場合があることが分かってきました。図5はその一例です。桟橋と土留めを結合（jointed）した条件の方が、独立（free）の条件よりも曲げモーメントが小さくなっています。横軸は入力地震動の加速度最大値、縦軸は曲げモーメント最大値を全塑性モーメントで除した値で、値が大きいほど曲げモーメントが大きいことを意味します。図6は杭の曲げモーメントの深度分布の例です。横軸は図5の縦軸と同じで、値が1の状態は塑性化した状態に対応します。杭頭も曲げモーメントが大きくなっていますが、最大の曲げモーメントは地中部で発生しており、図1右の分布とは全く違うことが分かります。残留変形量も、結合の条件の方が小さくなるケースがあります。固定観念にとらわれることなく自由な発想で検討を行うことで、社会資本の耐震性を向上させる方法はまだまだあると考えられます。私たちの研究グループでは、このように実際のメカニズムに則した形で、構造物の耐震性能を向上させる方法を研究しています。このほか、大地震発生後の桟橋の供用可能性を、地震前後の振動特性的変化から評価する方法についても研究を行っています（下図）。

参考文献：1) 南他：神戸港における横桟橋の被害調査と動的相互作用解析、第24回地震工学研究発表会、1997



大地震の前後で固有周期が1.2倍に変化すれば（横軸）、桟橋の杭が全塑性化する（縦軸=1）と概ね判断できる。振動特性の変化から、桟橋の供用可能性を判定できる！

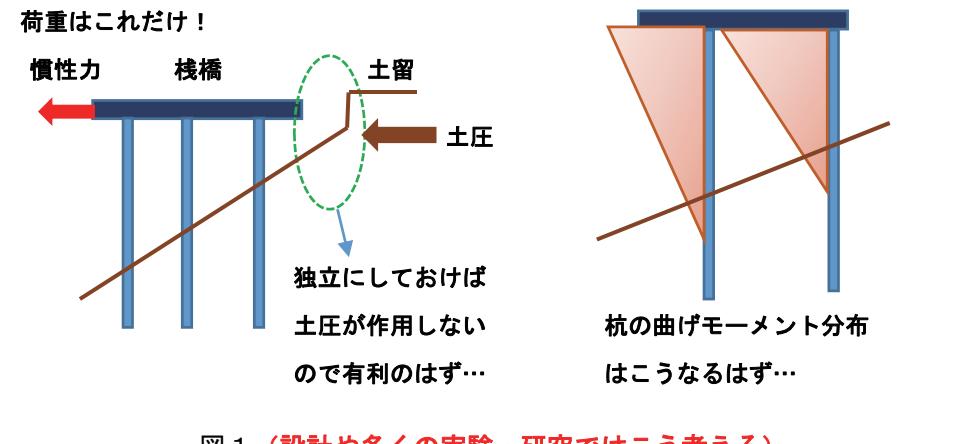


図1 (設計や多くの実験・研究ではこう考える)

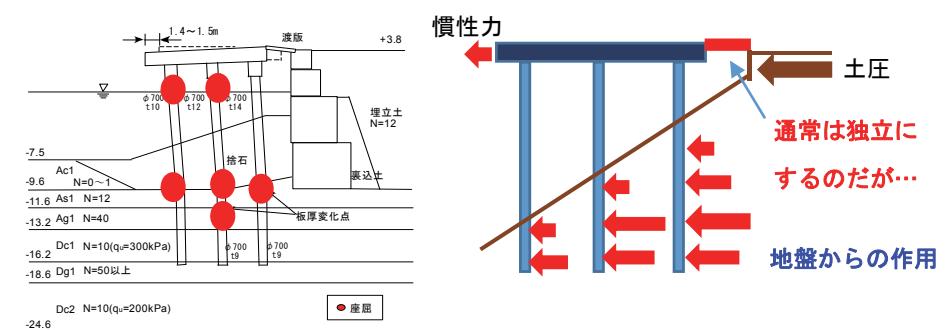


図2 (●が被災箇所)

図3 (実際はこうなっている！)

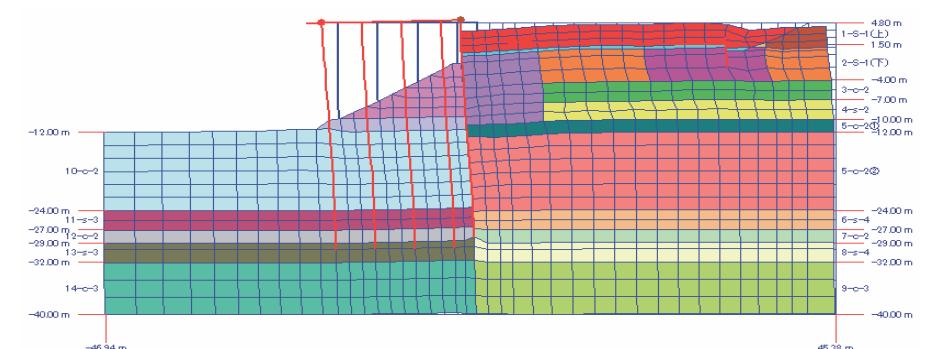


図4 解析モデルの例

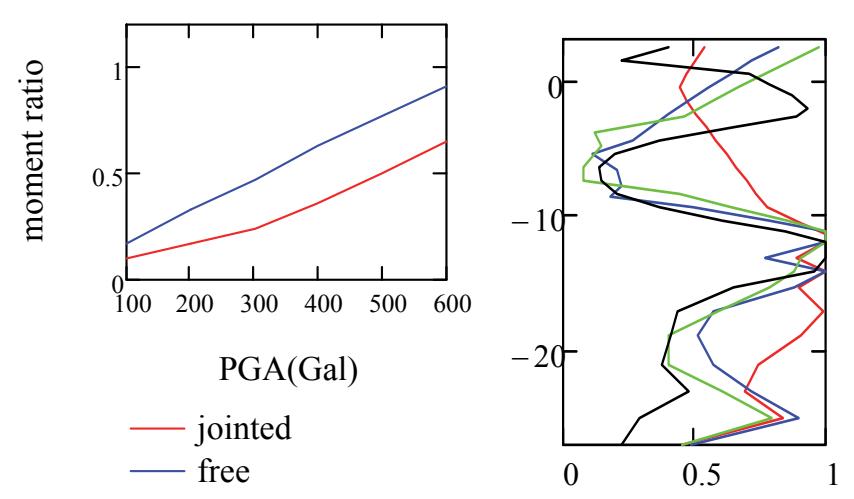


図5

桟橋と土留めを結合（jointed）した方が独立（free）としたよりも断面力が小さく、耐震性能が高い場合がある！

杭の断面力深度分布。横軸が1のとき杭は全塑性。図1右とは全く違う分布で、全塑性化するのは地中部である。図3の状態であることが分かる。

杭の断面力深度分布。横軸が1のとき杭は全塑性。図1右とは全く違う分布で、全塑性化するのは地中部である。図3の状態であることが分かる。