

粒子法による津波シミュレーションと構造物の挙動解析

正会員 東洋大学 理工学部 鈴木崇伸

1. 研究背景

2011年3月11日、東北地方太平洋沖地震により、10mを超える津波が発生し、太平洋沿岸に甚大な被害をもたらした。津波外力に対する設計は2004年のスマトラ沖地震で注目されていたが、本研究では、粒子法を用いた津波シミュレーションを設計に活用する基礎検討を行っている。粒子法の一つであるMPS法により津波を再現し、構造物に作用する波力を明確にする。さらに粒子力を波力に換算し、等価な力として構造物に作用させFEM解析を行った。今回の報告は再現解析の対象として、仙台市宮城野区の南蒲生浄化センターポンプ棟のRC壁の大変形と、気仙沼市本吉の小泉大橋(鋼橋)を採用した。

2. RC壁の解析条件

津波外力に対する設計として内閣府の「津波避難ビルの技術的検討結果」に津波荷重算定式が記されている。計算式は、

$$F = \rho g B \int_{z_1}^{z_2} (3h - z) dz$$

とされており、浸水深の3倍の水圧が作用しても構造物が安全であることを要求している。設計計算で扱いやすい静水圧の計算式は簡略化した結果であり、実際には時間変化する量として波力を定義するのが望ましいと考える。

津波の計算は市販ソフトであるparticleworks(プロメテック社)を用いて行う。長さ400m、奥行き40mの大きな水槽を準備し、高さ9m、長さ350mの水柱を設定し、津波の1波とした。粒子の直径は800mm、粒子数は212,611個で解析を行った。壁は剛体とし空間的に動かない条件として壁に衝突する粒子の水平力を算出し、分布力に置き換える。図1に計算の様子を示す。

コンクリート壁の解析はengineer's studio(フォーラムエイト社)を用いる。解析は波のあたる壁一枚とし、壁の上下をはりで固定するモデルとする。コンクリート壁は幅20m、高さ13.5mとし、壁厚は0.3mとする。壁は被害報告書を参考に構造条件に従って鉄筋を配置した。前述の分布力をコンクリート壁のモデルに作用させ変形計算を行った。水平力の時刻歴を作用させるのではなく、時刻歴の最大値まで荷重を漸増させる計算としている。

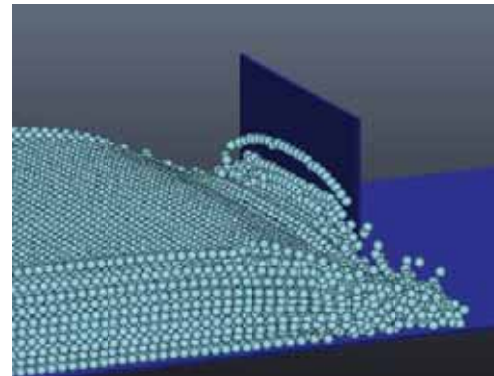


図1 壁構造の粒子法シミュレーション

3. RC壁の解析結果

粒子法による壁に作用する水平力の変動を図2に示す。水槽のサイズから浸水深では約2000kNが作用するが、衝突時に2回水平力が大きくなり、最大値は9,542kNとなった。

コンクリート壁に水平分布力を作用させた計算結果を図3に示す。壁の中央からやや下方で大きなたわみとなり、最大で85mmとなった。さらに水平力を加える計算を行うと、18753kNで124mmのたわみとなり破壊に至ることが判明した。

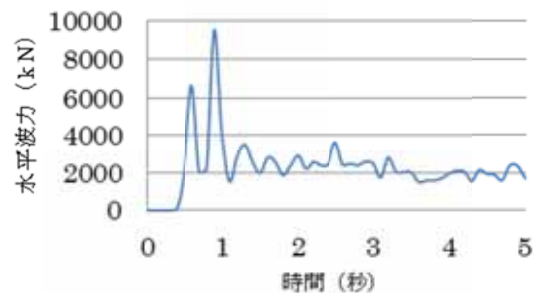


図2 RC壁の粒子法解析結果

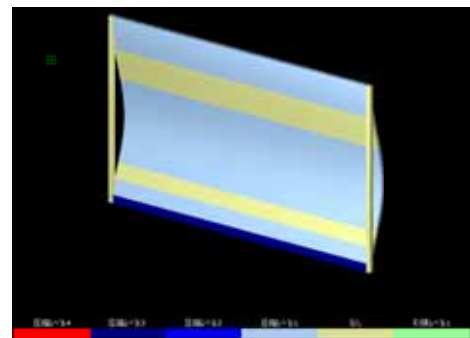


図3 RC壁の変形図

キーワード：津波波力，粒子法，3次元構造計算，RC壁，橋桁

連絡先：3508585 川越市鯨井 2100 東洋大学理工学部都市環境デザイン学科

4. 鋼橋の解析条件

小泉大橋は2連の6径間連続鋼桁橋であり、橋長180m、径間30m、幅員11.3m、橋脚高さ9.0mである。2011年3月の津波では橋桁がすべて流出している。RC壁と同様に大きな水槽の中に剛体とした橋脚と橋桁1径間を置き、津波シミュレーションを行い、鋼桁が受ける水平力と鉛直力を測定する。橋桁は直方体として近似している。津波の初期条件は高さ12m、長さ220m、幅60mとし、粒子サイズは500mm、粒子数は214,481個とした。水槽長さは500mとしている。図4に計算の状況を示す。

構造解析では鋼桁橋はできるだけ構造を再現するようモデル化した。図5に示すように6径間をモデル化した。橋脚と橋桁の接続部は非線形バネを用い、大変形が可能な条件としている。

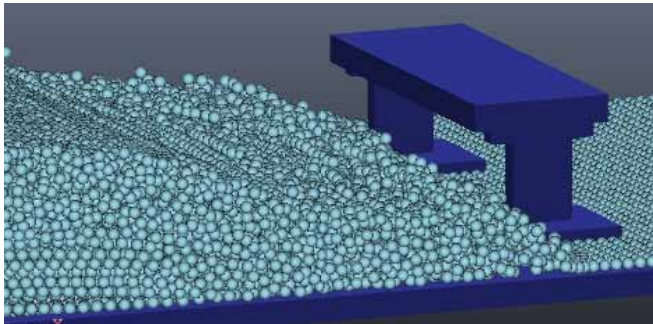


図4 橋の粒子法シミュレーション

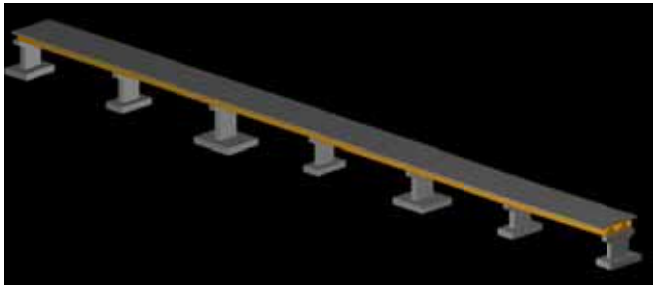


図5 小泉大橋の構造解析モデル

5. 鋼橋の解析結果

粒子法解析による荷重の推移を図6に示す。粒子の状態により波力が大きく変動する結果となっている。粒子の通過により2度のピークが発生している。津波の荷重はRC壁と同様に最大値を採用し、水平力：7970kN、上揚力：6687kNとした。

粒子法によって得られた波力を目安に、分布力を橋の構造モデルに作用させて変形解析を行った。図7に示すように鋼桁の最大変位は1.11mとなり大きな変形が発生することが確認された。

津波の波力は初期条件の水柱のかたちで変化する。沖合から押し寄せる計算も粒子法により可能と考えられるが、計算機能力を超える粒子数が必要となる。そこで水柱の形を工夫することで津波計算が近似できな

いかを検討している。初期形状を三角形とした場合と長方形にした場合の波力の比較を図8に示す。水柱の体積は同じとしているが、三角形の水柱を用いると緩やかに水位が上昇することがわかる。

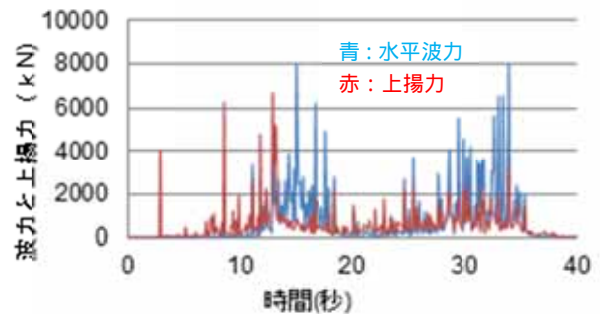


図6 小泉大橋の粒子法解析結果

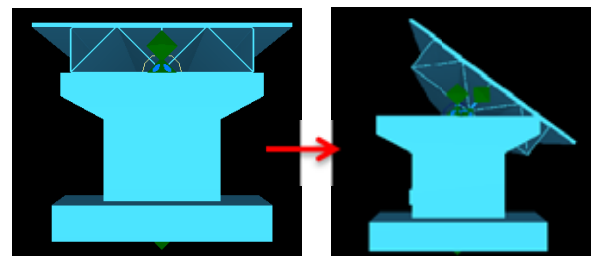


図7 鋼桁の変形

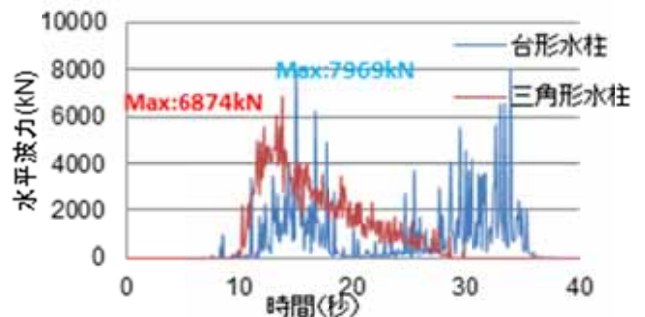


図8 水柱の形による水平力の比較

6. まとめ

粒子法は主にCG作成用として利用されているが、本研究では津波の外力算定に利用する研究を行った。市販プログラムを組み合わせる津波による構造物の変形解析を行ったところ、コンクリート壁の解析では実被害に近い挙動が再現できた。また橋梁の解析では、桁の流出は計算できないが、津波力により、桁が回転しながら大きく変形することが再現できた。

今回の解析では津波を静止した水の塊としてモデル化しており、ある流速を持って押し寄せる計算とはなっていない。研究課題として、沖合から来襲する津波の入力方法を工夫する点、粒子法により算出した波力の精度を明確にする点、構造解析との連動性を改善する点があげられる。これらの課題について研究を進める予定である。

参考文献

内閣府「津波避難ビルの技術的検討結果」