津波による越流が生じる海岸堤防に設置される コンクリートブロックに作用する流体力 に関する研究

大井 邦昭¹・林 建二郎²・多田 毅³・宮田 喜壽⁴

¹正会員 防衛大学校博士後期課程 理工学研究科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail:ed14007@nda.ac.jp

²正会員 防衛大学校教授 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail:hayasik@nda.ac.jp

³正会員 防衛大学校教授 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail:tada@nda.ac.jp

⁴正会員 防衛大学校教授 建設環境工学科 (〒239-8686 神奈川県横須賀市走水1-10-20)

E-mail:miyamiya@nda.ac.jp

巨大津波による海岸構造物の被災形態のひとつとして、海岸堤防を越えた流れによる海岸堤防陸側の背後地、法尻、斜面が洗掘され、これが堤体全体に進行して破堤に至るケースが多く報告されており、今後は設計外力を超過したレベル2津波に対して大きな被害を受けずに機能を容易に復旧可能な“粘り強い”構造を付与することが提唱されている。

本研究では、海岸堤防に粘り強さを付与するために陸側斜面に設置されたコンクリートブロックの安定性に関する一連の研究の一環として、ブロックに作用する流体力特性の明らかにするために、水理模型実験とCADMAS-SURF/3Dによる流れの数値計算を実施した。ブロックに作用する流体力によるブロックの転倒モーメントの発生メカニズムを定量的に明らかにしている。

Key Words : Coastal dikes, Tsunami, overflow, armor concrete block, fluid force

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震による巨大津波により、多くの海岸施設に甚大な被害がもたらされた。平成27年現在、被災した構造物の復旧工事が行われているが、震災を踏まえた新たな減災・防災対策の検討も急務である。海岸構造物のひとつである海岸堤防に着目した場合、上記の津波による被災形態として天端を越えた流れによる陸側斜面・法尻の洗掘^{1,2)}が崩壊に繋がった事例が多く報告されている。今後はこのような場合でも海岸堤防がただちに大きな被害を受けない“粘り強い”構造を付与することが提唱されている^{3,4)}。

粘り強い海岸堤防では陸側斜面と法尻の補強が必要となるが、その補強工法の一つとしてコンクリートブロック（以下、単にブロックとする）による被覆を行うという方法が考えられる。しかし、そのような利用方法は従来では用いられておらず、有効性の検証やブロックの津

波に対する安定性能を机上で検証する方法の確立、被災が生じるメカニズムの検証等が求められ、現在様々な研究が行われている⁴⁾。著者らも海岸堤防の補強のために陸側斜面に用いられるブロックの効果や安定性について研究を行っており、水理模型実験により有効性や被災状況（被災パターン）を明らかにしている^{5,6)}。しかし、これらの知見ではコンクリート三面張り堤防を対象にした水理学的な特性の整理や、その結果に基づいて提案されたブロックを利用する方法の有効性については検証がなされているが、ブロックに作用する流体力の把握などには依然として取り組まれておらず、ブロックの挙動は力学的に十分に評価されていない。

本報告では津波に対するブロックの安定性能を、ブロックに作用する流体力に基づいて定量的に評価するとともに、被災が生じるメカニズムの検証のためにブロックに作用する流体力や圧力分布の特性を整理する。また、被災メカニズムの検証に必要な、実測が難しいブロック

周りの詳細な圧力分布特性を把握するための一手法としてCADMAS-SURF/3Dによる流れの数値計算⁷⁾を実施し、その適用性についても検討した。

2. 検討概要

検討対象である海岸堤防の概要を図-1に示す。海岸堤防の断面形状は水理模型実験と後述する数値計算で同一とした。比高 dH は300mm（模型量），斜面勾配は海側陸側ともに1:2.0とした。堤体本体は不透過構造とするが、ブロック下面には実現場における構造形式に則り透水層を設けている。図-2に実験で用いたブロックの形状を示す。ブロックには揚圧力低減を目的とした孔が設けてある。上流端列と下流端列では間隙防止用にサイズの異なったブロックを互い違いに配置している。

実験は還流ポンプにより一方向流れを堤防模型に作用させて定常的な越流状態を生じさせることにより津波による越流現象をモデル化した。なお、越流状態を定常とするため、水槽上流には整流板を設けるとともに計測前には流れを安定させるために十分な時間をおいている。

なお、図-1に示す断面図の斜面最下段（法尻）ブロックは固定している。これは、海岸堤防背後域まで連続的にブロックを敷設した場合、下流端からの洗掘の進行により比較的小さい越流水深 dI でブロックが被災するためであり、実際の復旧工事においてもこれを考慮して背後域の地盤改良や大型の基礎ブロックを用いているため、

図-1 検討断面図

図-2 ブロック形状図（水理模型実験）

本検討においても同様に法尻ブロックを固定している⁴⁾。また、上述したように著者らは既に図-1に示す断面形状を対象に研究をおこなっており、法尻ブロックを固定した場合、最初に被災するのは斜面最上段（法肩）ブロックであることを示している^{5,6)}。従って、本研究においては法肩ブロックを対象とし、ブロックの被災メカニズムの検証を行うものとする。

3. 水理模型実験

(1) 計測項目と計測器のレイアウト

水理模型実験ではブロックに作用する流体力、ブロック下面の圧力、ならびにブロック周辺の流速を計測した。津波の越流水深 dI を60mm～180mmの間で数種類変化させた定常流れで計測した。

1回の計測時間は約60秒とした。この計測時間を用いた計測を数回くりかえし、それぞれの時間平均値の変動は非常に小さいことを予備実験で確認した。

ブロック近傍の流速分布特性を精度良く計測するために2成分レーザードップラー流速計を用いた。

a) 流体力の計測

ブロックに作用する流体力の計測には3分力計（容量：2kgf）を用いた。計測器は図-3に示すようにブロックに直接的に接続した。計測項目は斜面方向に作用する抗力 F_D 、その直角上向きに作用する揚力 F_L 、および水路横断方向軸回りの計測器を中心とした曲げモーメント M_T である。なお、静水中における測定系の固有振動数は21Hzである。なお、ブロックと計測器を静水中に水没させた状態を計測値の原点としたため、計測値（ F_D 、 F_L 、 M_T ）には計測器や関連部材（連結棒等）に作用する浮力の影響は含まれていない。

b) 圧力分布の計測

ブロック下面に作用する水圧を計測するために図-4に示すように透水層内にP1～P9の9個の圧力管を設置した。P1は堤防天端とブロックの間隙部、P2～6はブロック下面、P7～9は計測対象であるブロックの1～3個下流側のブロック中央部にある。ただし、P3、5はブロックの孔部の真下にある。これらの圧力管をビニールホースを用いてマノメータに接続してピエゾ水頭を計測した。

また、ブロックの上面に圧力管を設けたマノメーターによるピエゾ水頭計測は困難であったため、規定の全水頭値から速度水頭分を除去し、ブロックの上面でのピエゾ水頭を算定した。速度水頭の評価には、2成分レーザードップラー流速計で計測したブロック上面に存在する境界層外縁部での流速値を用いた。

図-3 3分力計の設置状況

図-4 圧力管配置状況

(2) 実験結果

a) 被災状況

ブロックの被災（転倒・離脱）状況の一例を写真-1に示す。\$dl\$がゼロから徐々に増加すると越流の流速が増大し、ブロックの振動が徐々に生じてくる。\$dl\$がさらに大きくなると、振動はさらに大きくなり被災が生じる。

ブロックの転倒はブロック下流端上部を支点に始まるが、ブロックが持ち上がると抗力が瞬時に増大して斜面から離脱する。写真-1の越流水深は\$dl=180\text{mm}\$の条件で、ブロックは極めて短い作用時間で被災した。なお、3.

(1) で示す実験作用時間内（約5分間）に被災が生じるのは\$dl=140\text{mm}\$以上の条件においてであった。

b) ブロック周辺の流速分布とピエゾ水頭分布の特性

ブロックの被災メカニズムを検証するためにブロック周辺で流速分布と圧力分布の特性を調べた。

図-5は越流水深\$dl=180\text{mm}\$の条件における流速分布である。\$x=0, 7\text{mm}\$の測線上では底面境界層の発達がありみられず、流れはダムの越流部における流れと同様にポテンシャル的である。しかし、堤体の勾配が水平から\$1/2\$勾配に急変する結果、流れの方向も水平から\$1/2\$勾配に漸変している。\$x=20\text{mm}\$よりも下流にある測線上ではこの流線の曲りによる遠心力の影響を受けて境界層上部では流速がやや早くなっている。また、\$x=20\text{mm}\$よりも下流の測線では境界層が顕著に発達しており、特に\$x=20\text{mm}\$の測線上では底面の極近傍で流れの剥離による逆流が生じている。

図-6はベルヌーイの式に図-5に示した流速ベクトルの大きさ\$U_i\$と位置水頭を代入して評価した\$x=0\sim90\text{mm}\$の測線におけるピエゾ水頭の鉛直分布を示す。上述のとおり、法肩周辺では流線の曲りによる遠心力の影響により、標高\$z\$が小さい（＝ブロック表面に近い）領域ではピエゾ水頭が減少している。

なお、標高\$z\$が大きい（＝ブロック表面から遠い）領域では流線の曲りによる遠心力の影響はなくなり、流れの方向は\$1/2\$勾配となり、ピエゾ水頭分布も一定となることがわかる。

c) ブロック周辺の圧力分布の特性

図-7にブロック下面に設けた9個の圧力管を用いて計測したピエゾ水頭の場所的变化を示す。図の縦軸を標高\$z\$およびピエゾ水頭としている。また、図中には実測した法肩周辺の水表面の位置を併せて示している。ブロックの上面のピエゾ水頭は、3. (2) b)で述べたように計測した流速からベルヌーイの式を用いて推定した値である。

ピエゾ水頭と位置水頭の差は圧力水頭であるため、流れの圧力が静水圧分布に従うのであればピエゾ水頭は水表面標高に一致する。しかし、本実験ではブロック上流端近傍でブロックの上・下面のピエゾ水頭は水表面の標高よりも大きく低下しており、圧力は静水圧よりも大きく低下していることがわかる。この圧力低下は上述したとおり流線の曲りによる遠心力の発生に起因していると考えられる。

また、ブロックの上面でのピエゾ水頭は下面よりも若干低くなっている。したがって、ブロックには写真-1に示すように斜面から引きはがす方向の力が作用して被災

転倒開始

転倒状態（このあと流失）

(※図-1, 2に示すように法肩ブロックが検査対象)

写真-1 被災状況（\$dl=180\text{mm}\$）

図-5 ブロック周辺の平均流速分布 ($dl=180\text{mm}$)
(下枠は $\Delta x=20\text{mm}$, $z=-10\sim 0\text{mm}$ 付近の拡大図)

図-6 ブロック周辺のピエゾ水頭分布 ($dl=180\text{mm}$)

図-7 ブロック下面を含むブロック周辺のピエゾ水頭分布
($dl=180\text{mm}$)

図-8 流体力の越流水深 dl に対する変化

に至るものと考えられる。なお、上述した通り本計測では浮力の影響は取り除いてある。

d) ブロックに作用する流体力

図-3に示す分力計で計測したブロックに作用する抗力と揚力の時間平均値を F_{Dmean} , F_{Lmean} とする。 F_{Dmean} と F_{Lmean} よりブロックに作用する合力ベクトルの大きさ F_{Tmean} と方向角度 θ を式(1), (2)で算定した。

$$F_{Tmean} = \sqrt{F_{Dmean}^2 + F_{Lmean}^2} \quad (1)$$

$$\theta = \tan^{-1} \left(\frac{F_{Lmean}}{F_{Dmean}} \right) \quad (2)$$

$$F_{DC} = pf \times S_f - pr \times S_r - F_B \quad (3)$$

図-8は整理した F_{Dmean} , F_{Lmean} , F_{Tmean} の越流水深 dl に対する変化を示す。なお、本実験でブロックの被災が生じるのは $dl=140\text{mm}$ である。 F_{Dmean} は dl が小さい場合は正值であり流れ方向に作用しているが、 dl が大きくなると負値となり流れと反対方向に作用する。これは3. (2) c)で示した通り流線の曲りによる遠心力の影響によるものと考えられ、 dl の増加に伴って圧力の低下が顕著になる。 F_{Lmean} は dl が小さい場合は負値であり斜面に押し付けられる方向の力が作用するが、 dl が大きくなると正值となり、斜面から引きはがす方向の力が作用する。これは F_{Dmean} の特性と同様に dl の増加に伴ってブロック上面の圧力が低下することによって考えられる。なお、圧力の低下はブロック下面にも伝播するが、相対的に上面の圧力のほうが低いため、ブロックには斜面から引きはがす方向の力が作用する。

また、図中には3. (2) c)で示したブロック前面(P1)・後面(P6)の圧力 pf , pr の差に基づいて式(3)で算定した抗力 F_{DC} を参考のために併せて示している。なお、式(3)の S_f , S_r はブロック前面と後面の流れ方向への投影面積、 F_B は浮力の抗力方向成分である。図より、

F_{DC} は F_{Dmean} は比較的良好一致している．このことより，抗力 F_{Dmean} には孔の影響や上下面のせん断力の影響は小さいと判断できる．

e) ブロックに作用する流体力

ブロックの被災が生じる $dI=180\text{mm}$ における合力 F_{Tmean} の示力線 (Direction of force indicating line) を図-9に示す．

示力線は位置と方向のみが明らかになっている線で，そのどこかに合力がある大きさを持って作用していることを意味している．示力線は式 (1) で算定した合力 F_{Tmean} の大きさと式 (4) で算定できる回転半径 l を基に決めることができる．

$$l = \frac{M_{Ymean}}{F_{Tmean}} \quad (4)$$

ここで， M_{Ymean} は M_f の時間平均値である．

図-9より， $dI=180\text{mm}$ のときの F_{Tmean} はブロックの重心付近を通過し，法肩方向に作用していることがわかる．合力 F_f の大きさと示力線，転倒が生じる際の支点（＝転倒支点）がわかるとブロックの転倒判断が可能となる．なお，本実験における転倒支点は目視観測と映像解析により図-9に示すブロックの下流端上部である．転倒判断には流体力による転倒モーメントとブロック自重による抵抗モーメントを用いる．転倒モーメント M_f と抵抗モーメント M_{SG} は式 (5)，(6) で算定できる．

$$M_f = F_T \times l_f = M_Y - F_D \times L_L - F_L \times L_D \quad (5)$$

$$M_{SG} = W \times l_{SG} \quad (6)$$

なお， F_D 等の計測値は浮力の影響を取り除いてあるため，自重 W は水中重量としている．ブロックの転倒は $M_f > M_{SG}$ となると生じる．また， M_f の時間平均値 M_{fmean} を求める場合は F_T ， F_D ， F_L ， M_f のそれぞれ時間平均値を代入すればよい．記号等の模式図は図-9を参照されたい．図-10は算定した M_{fmean} と M_{SG} の dI による変化を示す．これまで被災状況や示力線の例を示す際に用いてきた $dI=180\text{mm}$ では実際にはブロックの被災は瞬時に生じる．しかし，このときの M_{fmean} は M_{SG} を若干下回っており，安全率 (M_{SG}/M_{fmean}) は1.1である．3. (2) a)で上述したとおり，実際の被災は $dI=140\text{mm}$ で生じる．この場合は M_{fmean} は M_{SG} を大幅に下回っており，安全率は6.2である．この理由を示すために M_f の時系列を図-11に示す．

図より， M_f は大きな変動成分を有していることがわかる． $dI=180\text{mm}$ の場合，多くの時間で M_f は M_{SG} を超過している．その結果，ブロックの被災は瞬時に生じる．一

図-9 流体力の示力線 ($dI=180\text{mm}$)

図-10 M_{fmean} と M_{SG} の dI による変化

図-11 M_f と M_{SG} の dI による変化

方， $dI=140\text{mm}$ の場合は $dI=180\text{mm}$ の場合と比較して M_f の変動成分の平均値の大きさや変動成分の幅が小さく，多くの時間で M_f は M_{SG} を下回っている．しかし，図-11の $t=1.2\sim 1.3\text{s}$ 付近にみられるように，ある時間においては M_f は M_{SG} を超過することがある．その結果， $dI=140\text{mm}$ の場合においても頻度の低いある一瞬でブロックの被災が生じると考えられる．

4. 数値計算

ブロックまわりの流況特性およびブロックに作用する

流体力や圧力分布特性を把握するために、CADMAS-SURF/3Dによる流れの数値計算⁷⁾を試み、その適用性についても検討する。

計測対象ブロックの設置状況を図-12に示す。本計算では現象の簡略化と計算負荷の軽減のために、縦44mm、横44mm、高さ17mmの孔のない矩形ブロックを使用した。ブロックの上・下流側端の間隙C1、C2は5mmである。ブロックは厚さ20mm、空隙率50%の透水層（ポーラス体）上に置かれている。分力計は後述する水理実験で使用したものであり数値計算では存在しない。

計算結果と実験結果との比較のために、3章で示した孔があるブロックの場合と同様に、本矩形ブロックに作用する流体力、モーメント計測実験を行った。計測対象ブロックの上下流端の間隙は、実験ではブロックの上流側C1が3mm、下流側C2を1mmとした。使用した3分力計の設置概要を併せて図-12に示す。

(1) 数値計算概要と計算条件

a) CADMAS-SURF/3D概要

数値計算にはCADMAS-SURF/3D⁷⁾（以下、CS3Dとする）を用いた。CS3Dは、基礎方程式に三次元非圧縮性粘性流体を対象とした連続式、およびNavie-Stokes方程式をポーラスモデルに基づいて拡張した式が採用されている。座標系はデカルト座標系で、方程式はスタaggerド格子系を用いて差分化されている。また、自由表面解析モデルには、複雑な表面形状を取り扱うことができるVOF法が用いられる。乱流モデルにはk-εモデルが組み込まれている⁷⁾。透水層（ポーラス体）内での空隙率は50%、ポーラス部材の抗力係数は1.0と仮定した。

b) 計算条件

数値計算の計算条件を表-1に一括して示す。計算領域は計算負荷の軽減のため、図-13に示すように検討断面の一部のみを対象にしている。a)で述べたように、CS3Dはスタaggerド格子系を用いているため、堤防の形状をそのまま再現すると斜面部が階段状にしか表現することができない。本研究では、法肩付近の現象に着目するために斜面部が計算領域内で水平で表現できるように領域全体を傾け、重力の作用方向を図-13に示すように堤防天端に垂直になるようにプログラムを修正した。また、格子間隔は可変とし、ブロック周辺ではブロック間や透水層内の現象を精度よく計算するために格子間隔を細かくしている。格子間隔を表-2に示す。

なお、CS3Dは3次元空間を対象に計算することができる。しかし、ブロックは奥行き方向で形状が変化せず、また、津波が堤防に垂直に作用する場合は左右両側面では同一の圧力分布が生じると考えられることから、本研究では簡単のために水路奥行き方向（y方向）は単位幅とし、格子は分割していない。

図-12 3分力計の設置状況

表-1 数値計算条件

計算領域		図-12参照
タイムステップ		Auto
流入流量（単位幅）		Run1：3.75×10 ² m ³ /s/m Run2：4.50×10 ² m ³ /s/m Run3：5.25×10 ² m ³ /s/m Run4：8.00×10 ² m ³ /s/m
越流水深 <i>d_l</i>		Run1：83.7mm Run2：94.5mm Run3：104.7mm Run4：138.7mm
境界条件	上流側	流速規定
	下流側	自由流出
	側面	スリップ
	その他（堤体本体，ブロックほか）	対数則（粗度高さ指定）

表-2 計算格子一覧表

x(mm)	$\Delta x(\text{mm})$	z(mm)	$\Delta z(\text{mm})$
0~399	3	0~111	3
399~743	1	111~230	1

図-13 計算領域

本計算では、流入する流量を表-1に示すようにRun 1～4の4パターンで行った。なお、計算時間は水位や圧力が十分定常となる約10秒程度とした。

(2) 数値計算結果

a) 越流水深 d_l

図-14は、一例として越流水深 $d_l=138.7\text{mm}$ のRun 4の計算結果から、検査対象ブロックを含む法肩周辺の流況の時間変化（水位のみ）を示したものである。ブロック間隙やブロック下の透水層への水塊の流れ込みが表現されていることが分かる。

越流水深 d_l は図-1に示すように、堤防の影響を受けない十分沖の水深としている。数値計算では計算領域を堤体近傍に設定しているため、直接は d_l を知ることができない。従って、ここでは流入流量を基に式（7）で示す本間の流量公式により d_l を推定する⁸⁾。

$$q = 0.35 \times d_l \times \sqrt{2gd_l} \quad (7)$$

a. 計算開始から0.4秒後

b. 計算開始から4.0秒後

図-14 法肩周辺の流況（Run4 $d_l=138.7\text{mm}$ ）

ここに、 q は単位幅の流入流量である。各流入流量から算定した越流水深 d_l は表-1に併せて示す。

b) 圧力分布の特性

図-15は、Run 4の計算結果から整理したブロック周辺のピエゾ水頭分布を示す。図中、ブロック前面の図では縦軸を標高、横軸をピエゾ水頭とし、ブロック上下面の図では縦軸をピエゾ水頭、横軸を流下距離としている。

ブロック上面の圧力は法肩付近で大きく低下している。また、ブロック下面の圧力よりも上面の圧力が低下しており、ブロックには斜面から引きはがす方向の力が作用することが分かる。

(3) 水理模型実験と数値計算の比較

図-16に、数値計算によるRun 4の圧力分布形状から算出した流体合力の作用位置と方向、大きさを示す。

ブロックの転倒支点は、水理模型実験と同様にブロック下流端上部であると仮定すると、転倒モーメント M_{cal} が計算できる。この転倒モーメント M_{cal} は時間平均値であり M_{cmean} と記す。図-17に、転倒モーメントの数値計算結果 M_{cmean} と水理実験で得られた転倒モーメントの時間平均値 M_{fmean} の越流水深 d_l に対する変化特性を示す。数値計算結果 M_{cmean} と水理実験結果 M_{fmean} との一致度は、ほぼ良好である。図-11に示すように、転倒モーメントの実験値 M_f は大きく時間変動している。図中には越流水深 $d_l=105\text{mm}$, 140mm , 163mm の実験で得られた M_f の最大値と最小値の範囲をエラーバーで示している。本水理模型実験において、実際にブロックの転倒が始まる越流水深は $d_l \approx 160\text{mm}$ 程度であった。

水理実験でみられる流体力や転倒モーメントの振動成分発生の原因は、まだ十分に検証されていないが、プロ

図-15 ブロック全周のピエゾ水頭分布特性（Run4, 単位：m）

図-16 ブロックに作用する流体力の合力ベクトル (Run4)

図-17 M_{sg} , M_{cmean} , M_{fmean} の $d1$ による変化

ック角部や間隙付近で生じる渦流等の乱れによるものだ推測できる。乱流乱れが平均化されている本数値計算では、この振動成分が確認できなかった。

5. おわりに

本研究で得られた主要な結論は以下の通りである。

- 1) 津波による越流が生じる海岸堤防の法肩ブロックの被災(転倒)は流体力による転倒モーメント M_f がブロックの水中自重による抵抗モーメント M_{sg} を超過したときに生じることを水理実験による実測から定量的に明らかにした。このとき流体力と M_f は振動成分を有している。従って、転倒は M_f の時間変動の最大値に基づいて判断する必要がある。
- 2) ブロックの転倒は、ブロックに斜面から引き剥がす方向の流体力が作用することによる。このような流体力が作用する原因は、堤体を越えた流れの

流線が曲がることで遠心力が生じ、ブロック表面の圧力が下面の圧力に比べて低下するためである。

- 3) CADMAS-SURF/3Dを用いた数値計算を実施し、計算結果を水理実験結果と比較して妥当性を検証した。転倒モーメントの数値計算結果 M_{cmean} と水理実験で得られた転倒モーメントの時間平均値 M_{fmean} との一致はほぼ良好であった。
- 4) 数値計算結果を被災メカニズムの考察等に利用するためには、引き続き適用性の検証が必要である。本計算では結果的に水理実験結果と良好な一致を示したものの、格子サイズや透水層の空隙率、ブロック間隙の大きさを変えたときの検証は行っており、それらの影響を調べる必要がある。

参考文献

- 1) 中村友昭, 根笹裕太, 小竹康夫, 水谷法美: 海岸堤防を越流する津波による洗掘の発生機構と被覆工の安定性に関する研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, pp.1501-1505, 2014.
- 2) 飯干富広, 前野詩朗, 吉田圭介, 高田大資: 津波越流による海岸堤防裏法尻の洗掘に及ぼす裏法被覆工と法尻保護工形状の影響, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 70, pp.1966-1970, 2014.
- 3) 国土交通省 海岸における津波対策検討委員会: 平成23年東北地方太平洋沖地震津波および津波で被災した海岸堤防等の復旧に関する基本的な考え方, 2012.
- 4) 国土交通省国土技術政策総合研究所: 粘り強く効果を発揮する海岸堤防の構造検討, 2012.
- 5) 大井邦昭, 林建二郎, 河野茂樹: 粘り強い構造の海岸堤防法肩におけるブロックの転倒・離脱機構, 土木学会論文集 B3, 39巻, 2014.
- 6) 林建二郎, 大井邦昭, 河野茂樹: 粘り強い構造の海岸堤防に用いられる護岸ブロックの安定性に関する基礎的研究, 土木学会論文集 B2 (海岸工学), Vol. 69, pp.1946-1950, 2013.
- 7) (財)沿岸技術研究センター: CADMAS-SURF/3D 数値波動水槽の研究・開発, 2010.
- 8) 本間仁: 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, Vol.26, No.6, pp.635-645, 1940.

(2015. 6. 23 受付)

STUDY FOR FLUID FORCES ACTING ON THE ARMOR CONCRETE BLOCKS COVERING COASTAL DIKES FOR OVERFLOW IN TSUNAMI

Kuniaki OI, Kenjiro HAYASHI, Tsuyoshi TADA and Yoshihisa MIYATA

A tsunami caused by an earthquake off the Pacific coast of Tohoku seriously damaged many coastal structures. It is important to reinforce these structures with the concrete blocks and to give the function of tenacious structures. In case of coastal dikes, the stability of concrete blocks and the damage of coastal dikes are affected by the fluid forces and turning moments acting on concrete blocks armoring on slope just near the crest of dikes in the side of land for overflow in tsunami. In this study, we measured the fluid forces and turning moments acting on the armor concrete block covering coastal dikes for steady overflow. We also looked into the applicability of CADMAS-SURF/3D to estimate these force and moments.