

小名浜港防波堤の沉下に関する水理実験

東北大学工学部 正負 工博 岩崎 敏夫
 全 上 正負 沼田 淳
 全 上 正負 ○長谷 直樹
 全 上 学生負 大槻 参陸
 運輸省小名浜工事事務所・正負 内田 則夫

1. 緒言 小名浜港西防波堤は新産業都市建設計画に基いて昭和35年以来延長工事が進められ、水深7mより12m地奥に至る延長1000mに及ぶケーソン式防波堤(図-2の断面)工事が施工されてきた。(図-1平面図参照) 直接太平洋に面して北東から南に開けている本港は、あらゆる方向からの波をうけ、低気圧や台風による高浪が来襲する毎に急激な沈下を生じている。図-3はケーソンの沈下状況をその代表的なものについて示したもので、工事担当官吉村は沈下状況を解析して下記の推論を報じている。「堤体は始め陸側に傾いて沈下するがその後傾きは復元しさらに沖側に傾いて沈下量に比例した前傾度を呈する。沈下はそれ以前の波より大きい波を受けると急激に沈下し、初期の沈下をえた後の沈下曲線は各ケーソンとも平行しており、設置後1〜2年の間に合計60cmから1mに達する沈下を来す。沈下した堤体の調査より捨石基礎の洗掘ではなく、ケーソンが基礎の中に

図-1. 西防波堤配置図

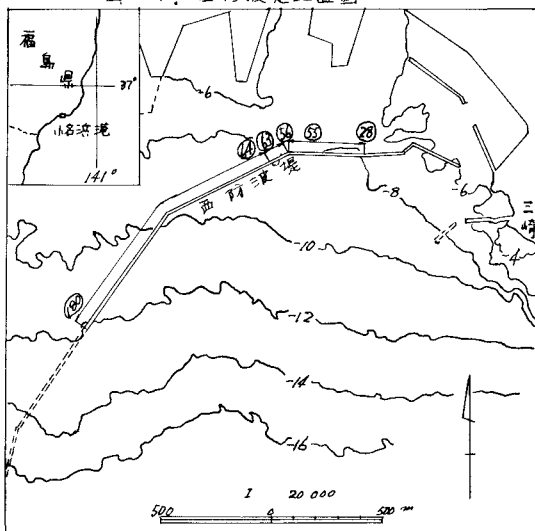


図-2. 標準断面図

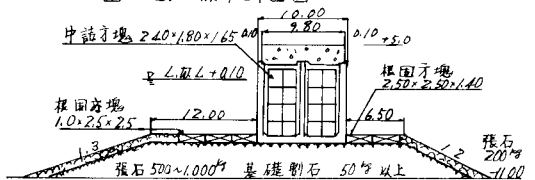
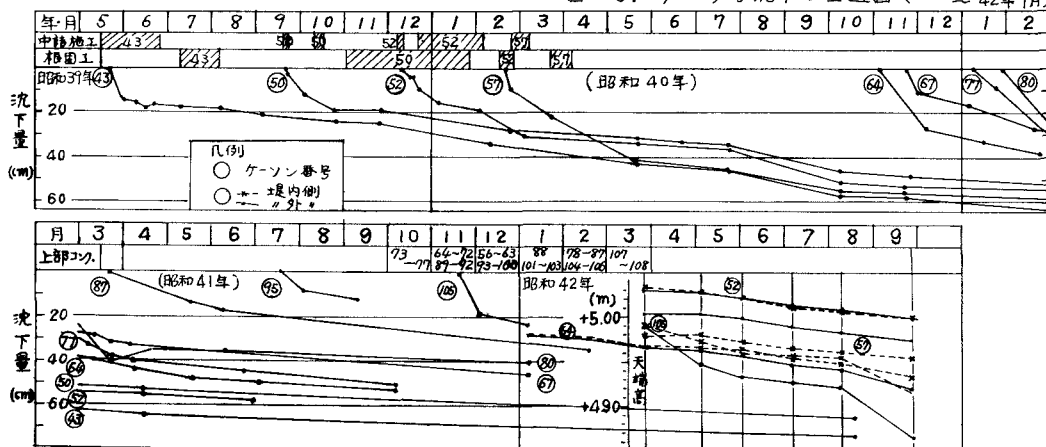


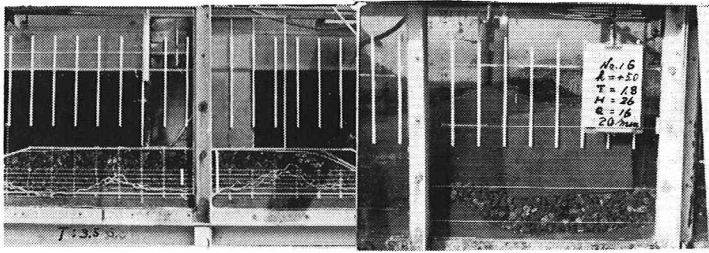
図-3. ケーソン沈下の経過図 (昭和39年5月〜42年9月)



堤体下部の砂表面は安定していて沈下現象はみられない。短い波では直前波高が20cmを越すと碎波領域に入って跳波が生じ越波により堤内水位は2cm上昇する。マウンド下の砂地盤は波の前進成分に押されて法肩の砂利戸中に堆積し、堤体下部では水位上昇による戻り流れの卓越により引波時の吸出しが強く、堤内寄りに最大4cmに達する洗掘が生じて堤は傾斜沈下する。3.5Sec波では敷砂の前後移動はより発達し30cmの波高で堤下面は約10mmの洗掘を受けて堤体前・後方に堆積部を生じる。堤の沈下は1000分の継続時間に拘らず2、3mmに止まる。越波を防いで波高を増すと前踵部の攪乱が著しく40cmの範囲が15mmの洗掘を生ずる。堤は前傾して約10mm沈下する。波高が50~60cmになると嵩上げ10cmの天端を越波する量が増して堤内水位は4cmに上昇し、前踵部は3cmの深さに掘れ堤後方に高さ15cmの三角形の砂堆を造る。堤体は滑動気味となり約1cm沈下した。

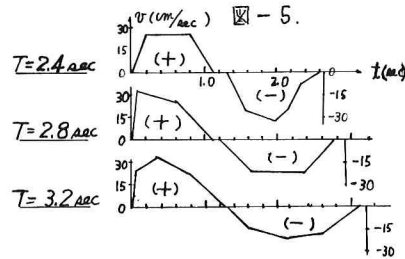
グリーンアッシュ底質の場合は、短い波でも20cmの波高で直ちに洗掘が生じ堤体下面が一様に2cm低下して背後に5cm高さの堆積をみせた。堤の沈下も同時に現われ30cmの波高で100分継続後20mmに達した。これは併設した砂地盤側の堤 写真-1. 予備実験 砂地盤変動。 -2. 1/30模型の洗掘状況。

体の沈下量5mmの4倍である。長い波の越波しない範囲での洗掘は、3cm深さの線で変動を繰返して平衡状態に達した。この間堤体はゆっくり沈下し200分至過後、それぞれ17、3mmとなり、始めよりの



総沈下量ではグリーンアッシュの側は45cmに達して現地の沈下量に近い値を示した。

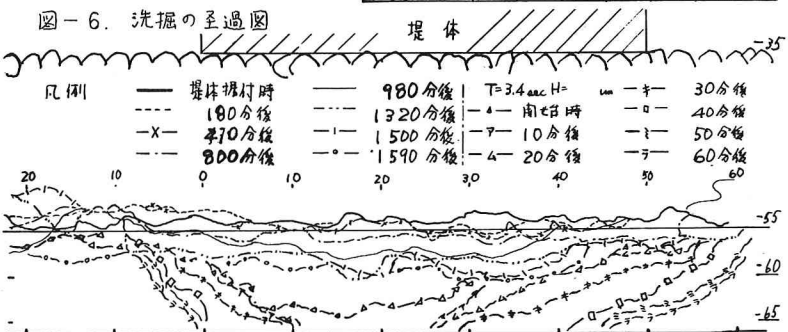
基礎砂利戸中の波による振動流は堤前面の重複波高に比例した値を示し、短い波の20~30cmの波高で前進30、後退20%の流れを記録した。図-5は H/L の違いによる流れの様子を示したもので、短い波では正逆流がほぼ等しくSine Waveに近いが、長い波では前進流が大きく急峻で後退流は小さいが継続時間が長くなっている。しかし越波しない範囲ではそれぞれの流れの時間積分値は大小がなく、堤内外の水の収支が平衡状態にあることを示している。



一連の周期による実験：波高の各段階毎に一連の周期の波を

200, 400, 400, 400, 300分続けた実験で、各段階における洗掘の至過を

図-6に示している。この実験で注目されることは堤沈下が著しく進んだ300分の頃であり、この時の波はその前後の波と較べて必ずしも小さくなくたゞ他のケースより越波量が大きくなって堤内水位を4~5cm上

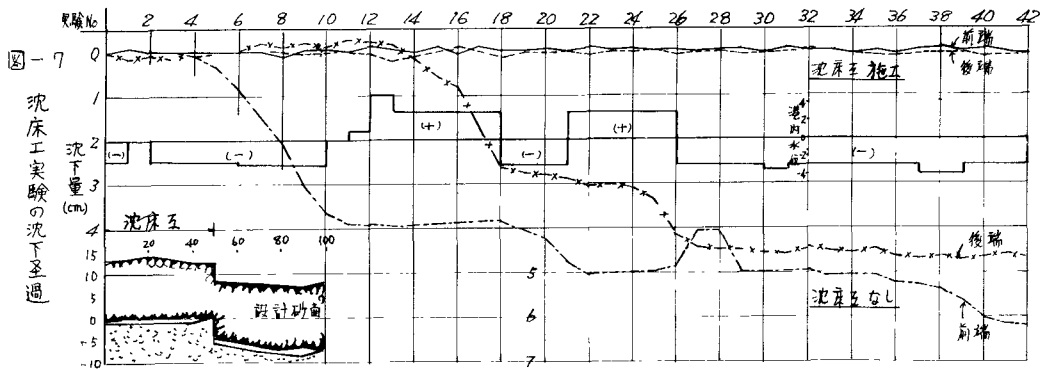


昇させていた桌である。すなわち入射する波がマウンドにより変形されて波峯部の勢力を増し、越波が著しくなつて底戸部は速度が弱まり、さらに堤内の水位上昇による戻り流れに押されて捨石戸中の前進流は一戸弱まり、基礎面に沿う沖向きの流れが卓越して洗掘が助長されたものである。

周期固定の実験：底質は砂とグリーンアッシュの混合したもので、堤体間の空隙も填充せず波が侵入する状態で試験している。始め短い波では洗掘が進み堤後踵寄りに最大55cmに達して堤体は後傾し1cmの沈下が生じた。砂地盤は入射波の前進成分が強く前方50cmの所に砂堆をなし、堤前踵部は堆積・洗掘の境界面になつている。堤内水位は侵入波の質量輸送によりどの場合も1,2cm高い。長い波(32Sec)では地盤面がすでに安定状態に達したためか底質の動きが盛な割合に洗掘は進まず、長時間至過後で約5mmの沈下に止まる。越波を防いで波高を40cmに増し洗掘を期待したが、水位が3,4cm上昇したもの、洗掘は進まず後踵部が少し下がった程度である。天端よりの越波を許し水位が5cm上昇の状態が続くと、平衡状態が崩れて洗掘が進み $5\text{mm}/20\text{分}$ の沈下速度を呈した。基礎マウントの砂利は砂地盤の洗掘に応じて沈下し、最深部の堤後端寄りに押込まれる傾向である。実験後基礎部の構成を調べると、砂地盤・砂砂利混合戸および砂利戸の3戸に明瞭に識別され、堤前後方は混合戸が厚くて堆積を示し堤体下部は極めて薄く無い地桌もあり洗掘が進行していることを示している。

1/30縮尺実験：現地で最も強勢である周期10Sec(標型1.8Sec)の波により波高を10, 15, 20, 25cm(重複波)と高くしながら20分継続の実験を繰返して次の事項を検討した。i) 堤幅の大小：天端高さ+2.5mで越波する状態であるため堤内水位は各段階の波で夫々1, 2, 3, 4cm上昇し可成の戻り流れが生じている状態である。30分の全過で長短両堤の沈下状況に著しい相違が生じた。長い堤は1cmの前傾斜で沈下し、短い堤は極端な後傾斜(約7cm)を呈して長堤より平均2cmも落込んでいる。堤幅が大きい場合(現地15m相当)はそれだけ沈下に対する抵抗が大きいことを示すものであるが、同時実験のために抵抗の少ない短堤側の洗掘が増大した桌のあることも否めない。ii) マウンド厚さの大小：標準断面の捨石基礎の厚さ133cmの1.5倍の実験では長短両堤とも2~4cmの後傾を呈し、夫々2~3, 3~4cm沈下した。これは堤脚が浅くて波が変形し波峯部が砕砕して壁上面に衝突する力が強いために越波量も増大している。このときも短い堤(幅10m)は2cm程沈下が大きくなっている。捨石戸が薄い6.7cm(0.5倍)では入射波は安定した重複波であり、天端を嵩上げて越波を防ぐと共にポンプ(150 $\frac{\text{リットル}}{\text{分}}$)により堤内水位を-3cmから+4cmの範囲に調整して岸向・沖向の定常的な流れを与えた。予期した通り基礎の厚いときより洗掘が著しく、堤内水位の昇降による後傾・前傾の度合も敏感に堤体に現われている。即ち短い堤は堤内3cmの水位上昇により直ちに5cm以上の後傾を生じ、その後-20cmの減水では後踵の沈下は止まり前踵は沈下が続いて堤体は水平に戻り、さらに前傾に転じて沈下して合計約5cmに達した。長い堤は前傾斜のまま、沈下を続け次第に傾きを増して前踵65cmの沈下となつた。斯様にこの実験でも堤内水位の増減は沈下する堤体の傾斜を支配する要因であることが認められた。

対策工の実験：堤幅10mの標準断面について実験したもので、砂地盤の水路断面を仕切板で縦方向に二分し、その一方に透水性のマット(商品名モルトプレ^セン、厚^さ10mm、 $n:80\%$)による沈床工を施こして沈床なしの場合と比較してみた。このときの沈下の経過を図-7に示している。沈床工なしの堤の沈下曲線は堤内水位の変化に則応じて堤前・後踵の下降が明瞭に出現しているのに反して、沈床工を施こした側の堤体は不動の天端高さを示している。なお沈床工の敷設長さについては洗掘を受ける範



図の長さが必要であり、この場合堤体の前後方に堤幅分も延長してあれば充分効用を示すであろう。基礎の捨石表面に張石を施した場合に、進行していた洗掘が平衡に達し沈下を止めることができたが、張石の規模と洗掘の程度および水理条件等についてはなお検討中であり後日の機会に譲る。

4. 考察ならびに結論. この種の移動床による模型実験では相似律の關係で現地との間に相違が生じ、足量的には勿論定性的な傾向についても二次元という制約の下にあるので、現地の現象の十分な再現は困難である。しかし前節に示した水理実験による個々の性状・特徴は現地での沈下現象の理解に役立つものも数多く指適することができる。はじめに述べたように現地の沈下経過では堤体は前傾の形で沈下が進んでおり、本実験の水位操作を加えないケースにおける後傾斜という一般的傾向とは違った状況を呈している。これは全長2000 m以上に達する東南方向に伸びる防波堤によって、港外側は重複波はもとより沿い波による攪乱にさらされる結果となる。このような港外側の擾乱により堤体前面の捨石基礎は港内側よりも洗掘が進行することは当然考えられるところである。昭和42年夏、東方海上を通過した台風22号の来襲波を三崎より観察したところ、港外側は屈曲した防波堤からの反射で子午線状の波峰が走り、崎の麓の海岸道路は波が遡上して通れない程であった。また沖側に弯曲した防波堤法線は、特に長い波による質量輸送で港外側の水位上昇を来して、波による振動流の上に港内側に向う定常流が加わることも考えられる。さきに福島沿岸の高潮災害に関して調べた小名浜測候所の潮位偏差量では、港内の水位上昇は異常時においても10~30 cmであり、外海に面した松川浦の高浪による偏差量50~80 cmよりはるかに小さい値であった。⁵⁾ 実験の後期のポンプを使用したケースは期する想定に対応する条件のものであり、沈下の傾向も現状に近い結果を与えている。防波堤はなお延長工事を継続しており、それによる海象条件の変化も当然考慮しなければならない。期様に実験上においても現地条件を反映させて精度の高い実験をおこなうと共に、考えられる諸対策工についてさらに実験的に検討することが必要である。

参考文献

1. 吉村芳男： ケーソン防波堤の急速施工例 土木学会誌 Vol.51, No.9 1966.
2. 内田則夫他： 小名浜港の風波について、 才14回海岸工学講演集、1967、11月。
3. 伊藤喜行： 防波堤の安定性に関する研究、 港湾技術要報 Vol.5, No.10, 1967
4. オニ港湾横決調設： 名古屋高潮浸透水模型実験報告 才2報 1963、3月
5. 岩崎・沼田・長谷： 福島沿岸における高潮災害について、 東北支部技術研究会、1967、2月。