

独立行政法人港湾空港技術研究所

港湾空港技術研究所 報告

REPORT OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH
INSTITUTE

VOL.44 NO.2 June 2005

NAGASE, YOKOSUKA, JAPAN

INDEPENDENT ADMINISTRATIVE INSTITUTION,
PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE



港湾空港技術研究所報告 (REPORT OF PARI)

第 44 卷 第 2 号 (Vol. 44, No. 2), 2005 年 6 月 (June 2005)

目 次 (CONTENTS)

1. 台風 0314 号による大韓民国馬山湾の高潮の現地調査と数値計算
.....河合 弘泰・富田 孝史・平石 哲也・安田 誠宏..... 3
(Field Investigation and Numerical Simulation of Storm Surge in Masan Bay, Korea by Typhoon 0314
..... Hiroyasu KAWAI, Takashi TOMITA, Tetsuya HIRAISHI, Tomohiro YASUDA)
2. 台風 0314 号の高潮による大韓民国馬山市街地での浸水に関する数値計算
.....平石 哲也・河合 弘泰・南 靖彦・安田 誠宏 23
(Numerical Simulation on Inundation in Masan City, Korea due to Storm Surge by Typhoon 0314
..... Tetsuya HIRAISHI, Hiroyasu KAWAI, Yasuhiko MINAMI, Tomohiro YASUDA)
3. 非固定航路で不連続的に観測された流況データからの潮汐成分と残差流成分の分離手法について
.....鈴木高二朗・竹田晃・橋本典明..... 39
(Separation of Tidal and Subtidal Currents from Intermittent Currents Data measured at non-Fixed Routes
..... Kojiro SUZUKI, Akira TAKEDA, Noriaki HASHIMOTO)
4. 管中混合固化処理地盤の強度変動と要因分析
.....北詰昌樹・早野公敏..... 57
(Strength Scatter and its Causes of Pneumatic Flow Mixing Treated Ground
..... Masaki KITAZUME, Kimitoshi HAYANO)
5. 海水流動の 3 次元性を考慮した高潮・津波数値シミュレータ STOC の開発と津波解析への適用
.....富田孝史・柿沼太郎..... 83
(Storm Surge and Tsunami Simulator in Oceans and Coastal Areas (STOC)
..... Takashi TOMITA, Taro KAKINUMA)
6. 構造物の沈下挙動を制御する新型基礎に関する基礎的研究
.....水谷崇亮・菊池喜昭..... 99
(Fundamental study on a new type foundation which control settlements of a structure
..... Taka-aki MIZUTANI, Yoshiaki KIKUCHI)
7. 飛砂の限界摩擦速度変化特性を考慮した飛砂量推定
.....有働恵子..... 123
(Sand Transport Rate Estimate Considering Variation in the Threshold Wind Shear Velocity
..... Keiko UDO)

台風 0314 号の高潮による大韓民国馬山市街地での 浸水に関する数値計算

平石 哲也*
河合 弘泰**
南 靖彦***
安田 誠宏****

要 旨

2003 年 9 月に韓国南部に上陸した台風 14 号 (Maemi) は、釜山周辺の沿岸部に、防波堤の滑動、船舶ホテルの転覆、岸壁クレーンの倒壊など甚大な被害をもたらした。釜山西方の馬山市では、市街地に浸水した高潮によりデパートやアパートの地下室が水没し、多くの人命が失われた。本研究では、馬山市の現地調査で得られた浸水深の分布を検証データとして、流体直接解析法によって市街地と地下街の浸水状況を再現した。さらに、防潮堤や止水壁による高潮浸水対策施設の効果を数値的に評価した。

キーワード：現地災害調査、市街地の浸水、高潮、地下街の氾濫、直接流体解析法

* 海洋・水工部波浪研究室長，博士（工学）
** 海洋・水工部海洋水理・高潮研究室長
*** 海洋・水工部波浪研究室員
**** 京都大学防災研究所助手（前 波浪研究室特別研究員）
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人港湾空港技術研究所
電話：046-844-5042 Fax：046-841-3888 e-mail:Hiraishi@pari.go.jp

Numerical Simulation on Inundation in Masan City, Korea due to Storm Surge by Typhoon 0314

Tetsuya HIRAISHI*
Hiroyasu KAWAI**
Yasuhiko MINAMI***
Tomohiro YASUDA****

Synopsis

The typhoon No.14, 2003 (Maemi) caused severe storm surge damage in the south coast of Korea. The urban area of Masan city (Gyeong Sang Nam Do) was heavily inundated and several persons were dead in an underground floor due to difficulty of evacuation. The field survey was carried out to reveal the characteristics of storm surge inundation.

A numerical analysis model of inundation on the surface and underground areas in the city was developed applying the 3D direct flow simulation method. The estimated inundation depth agreed with the observed one in the field survey. The numerical model was employed to evaluate the effect of countermeasures against storm surge inundation. The tidal barrier on shore and the entrance protection of underground floor became effective to reduce the inundation risk in urban cities.

Key Words: Field survey, Inundation in underground floor, Numerical simulation, Storm surge, Typhoon Maemi

*Head, Wave Division, Marine Environment and Engineering Department, Dr.Eng.

**Head, Marine Hydrodynamics and Storm Surge Division, Maritime Environment and Engineering Department

***Member, Wave Division, Maritime Environment and Engineering Department

****Disaster Prevention Research Institute, Kyoto University (Former member, Wave Division), Dr. Eng.

3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan

Phone : +81-46-844-5042 Fax : +81-46-841-3888 e-mail:hiraishi@pari.go.jp

目 次

要 旨	23
1. まえがき	27
2. 浸水被害現地調査	27
2.1 調査対象地点	27
2.2 高潮による被害状況と検潮記録	27
2.3 痕跡調査結果	28
2.4 地下浸水被害の発生状況	29
3. 浸水解析方法	30
3.1 浸水解析モデル	30
3.2 市街地地形のモデル化	30
4. 市街地における高潮浸水解析	32
4.1 市街地における浸水状況	32
4.2 浸水深および流速の解析結果	32
5. 浸水対策施設の効果	33
5.1 海雲プラザの浸水解析	33
5.2 浸水対策施設の効果予測	33
6. まとめ	34
参考文献	37
記号表	37

1. まえがき

2003年9月、韓国南部を台風14号 (Maemi) が通過し、死者・行方不明者130人、被害総額5兆6000億ウォンを超える凄まじい人命被害と資産被害を出した。釜山市の西側に位置する馬山市においては、高潮による未曾有の災害が発生し、地下施設への浸水により十数名の死者が出た。近年、我が国や欧米各国においても、人口や資産が集中している都市部を水害が襲い、地下街や地下鉄が被害を受けるといった、都市に特有の新たな形態の水害が発生しており、地下空間における水害対策の必要性が指摘されてきている。今回の馬山市における高潮災害も、地下施設が数多く存在する高度に開発された都市空間における水害であり、被災状況を調査し、被害を大きくした要因を明らかにする必要性は非常に高いといえる。

被災地の現地調査は、後藤ら(2004)、高山ら(2004)によりなされている。しかしながら、その多くは災害直後になされたため、被害の概況を調べる程度にとどまっており、被災地の地盤高や浸水の痕跡高の測量までは実施されていない。そこで、市街地における浸水被害の規模や地下への浸水状況を調べるために現地に赴き、最高水位の痕跡値を調査し、街路の地盤高や代表的な施設の地下室の寸法などを測量した。また、3次元流体解析モデルを用いて、馬山市街地を対象に地下施設を含む浸水解析を実施した。そして、浸水状況の再現結果から、被害が大きくなった原因を明らかにし、対策案を提案した。なお、本研究は、市街地の浸水対策を目的として詳細な浸水解析を行っている。外洋の高潮計算や馬山全域での被災調査は、河合ら(2005)を参照されたい。

2. 浸水被害現地調査

2.1 調査対象地点

釜山の西、朝鮮半島南岸には東西約40kmの鎮海湾があり、その北端に接続して、南北約10km、東西約2kmの細長い入り江状の馬山湾がある。図-1は、韓国東南部の地図と馬山湾の北側(奥側)の約半分を示したものである。

著者らは、調査対象地点を馬山市に限定し、地盤高や浸水の痕跡値を平面的にレベル測量した。浸水時の状況をヒアリング調査し、それに基づく最高水位を測量した。調査は、浸水被害の大きかった埋立地を中心に行い、対象範囲は、図-1の太枠で示す西港埠頭の岸壁に沿って約550m×奥行約800mである。

この範囲は近年の埋め立て地に相当し、周囲は比較的勾配のきつい斜面に囲まれて、浸水範囲はほぼ調査地点

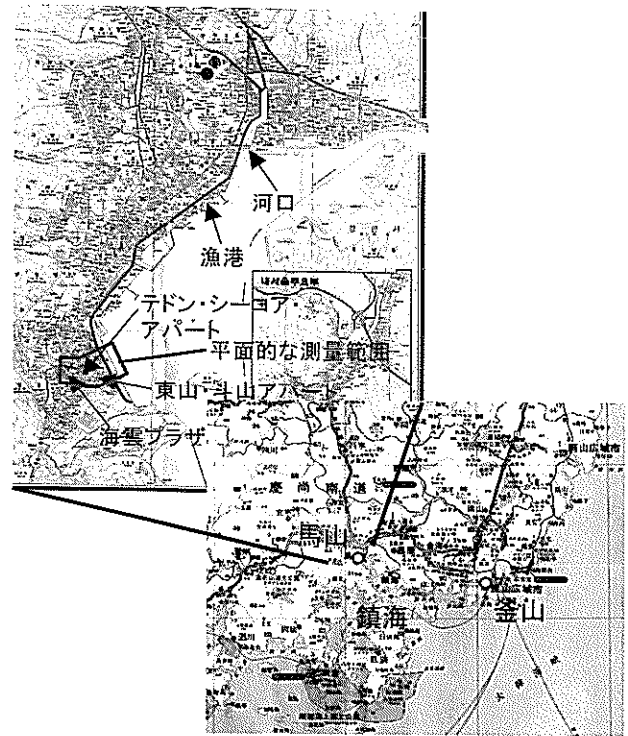


図-1 調査対象地点

に限定される。後述の計算領域も、埋め立て地全域を対象としており、計算領域の周辺は標高が一段と高くなっている。

2.2 高潮による被害状況と検潮記録

図-2は韓国国立海洋調査院(NORI) (Choi, 2004)から提供された、馬山湾の検潮記録である。検潮所は図-1の漁港にある。検潮所では最高潮位として馬山湾潮位基準面(C. D. L.)+4.32m、高潮偏差2.4mが観測されている。

東山・斗山アパート(岸壁から150~350m)では地下駐車場で1名が、テドン・シーコア・アパート(約400m)では地下のエレベータで1名が亡くなっている。また、海雲プラザは、岸壁から約700m離れているにもかかわらず、地下店舗への浸水が発生し、8人が逃げ遅れて死亡している。地下への浸水状況を解析的に調べ、その原因を検討するため、これらの施設においては、地下室の大きさを詳細に測量した。

西港埠頭の岸壁の高さはC.D.L.+2.8mである。その背後には植栽による数十cmの盛土があるだけで、胸壁など防潮施設はなく、そのまま市街地へつながっている。この辺りは海であったところを埋め立てられて開発された市街地で、調査対象範囲の周辺に比べて、地盤高はかなり低い。岸壁から約500mの範囲まではほとんど平坦

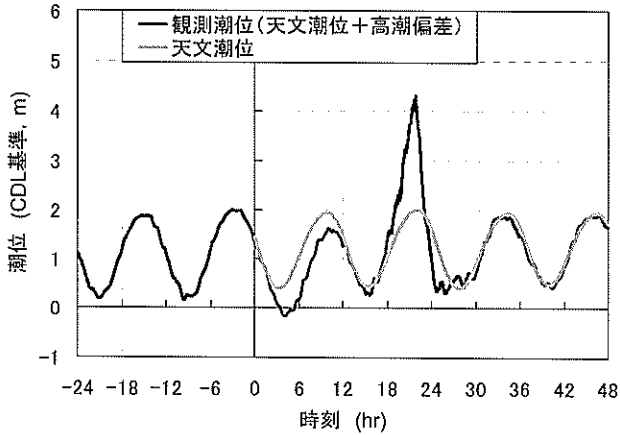


図-2 馬山湾検潮記録

であり、そこから奥がやや上り勾配になっている。市内には至るところに地下駐車場があり、その入り口は地表

面から斜路になっており、止水壁は全く見られない。

ヒアリングの結果、貯木場に保管してあった数百本の木材が高潮で流出し、市街地に押し寄せたことがわかった。これらの木材が、建造物の外壁や車を破壊し、被害を大きくしたことは明らかである。

2.3 痕跡調査結果

最高水位の痕跡値の測量結果を図-3 に示す。図ではWLで基準面からの高さを示し、DLは地盤の基準面上の高さである。図-3 右上の写真は、岸壁から約250mのところにある中華食堂であり、ガラス戸に貼られたポスターには浸水の痕跡が残っている。この痕跡の高さは道路(車道)の地盤から1.64mであり、岸壁に近い平坦部では大人の背丈ほど浸水したことが分かる。

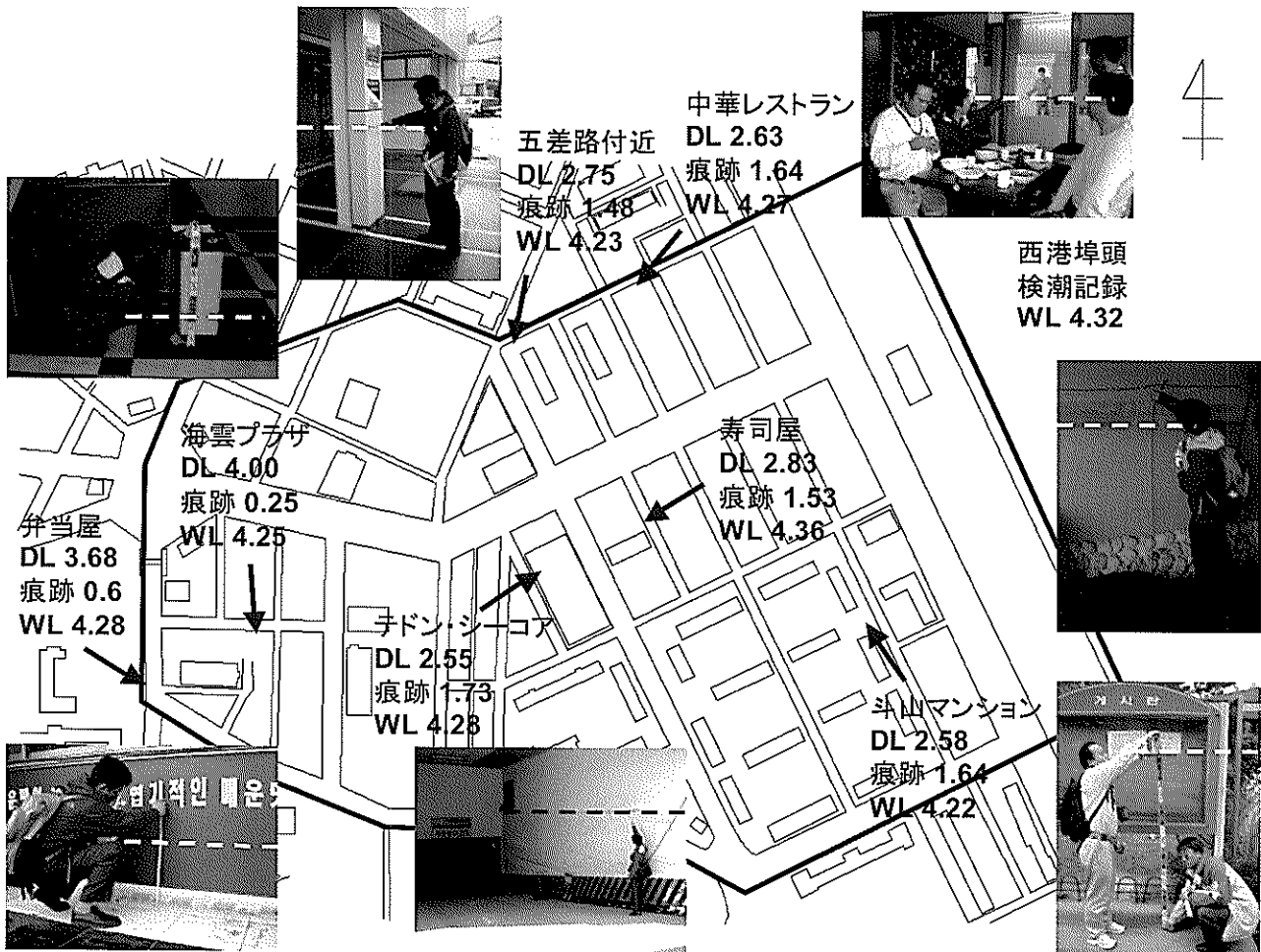


図-3 馬山市街地における浸水被害調査結果 (単位: m)

図-3の右中央の写真は、五差路とほぼ同じ離岸距離にある寿司屋での痕跡である。この寿司屋より海側に自動車整備工場があり、油によって痕跡がはっきりとついていた。痕跡の幅は約15cmで、波による跡が残ったものと考えられる。図-3中央上の写真は、中華食堂の奥の五差路付近であり、地盤から1.48mの痕跡が残っていた。C.D.L.からの最大水位としてはほぼ同じ高さ+4.23~4.27mであり、氾濫水はこの道路に沿って陸地内奥へと進んだと考えられる。痕跡高は1.53m、C.D.L.基準の最大水位は4.36mで、検潮記録とより若干高かった。

図-3右下の写真は、斗山マンションの玄関口におけるものである。マンションの管理人にヒアリングした高さを痕跡値とした。痕跡高は1.64m、最大水位は4.22mであった。図-3中央下の写真は、テドン・シーコア・アパートの地下駐車場入口におけるものである。地下1階が店舗、地下2~4階が駐車場である。地下駐車場斜路の下の壁面に大きな穴が空いており、ヒアリングによると、流木が地下駐車場に入ったためとわかった。出入口付近の痕跡高は1.73m、最大水位は4.28mであった。この周辺までが、西港埠頭とほぼ同じ地盤高であった。

図-3左上の写真は、8人が亡くなった海雲プラザである。玄関口における痕跡高は0.25mと低いが、最大水位は4.25mと妥当な値である。1階の浸水深が低いにもかかわらず、地下における被害が大きくなった原因については、次節で詳しく考察する。

図-3左下の写真は、調査対象範囲の最奥部である。これより内陸部は地盤高が急に高くなっており、全く浸水していない。痕跡値は0.6m、最大水位は4.28mであった。

調査結果をまとめて、検潮記録と比較した断面図を図-4に示す。テドン・シーコア・アパートまでの約500mまでは、地盤高は平坦でH.W.L.+0.8m程と低い。浸水深は1.4~1.6mであり、人の身長に達していた。浸水深0.2~0.6m

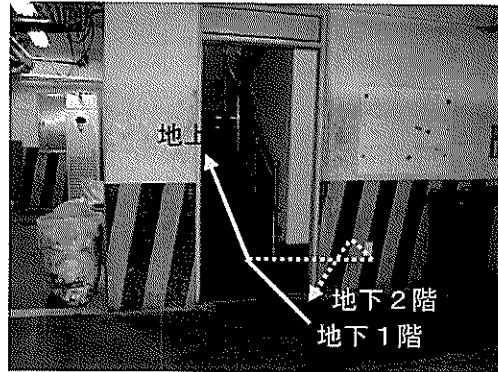
と低いが氾濫水はそれより奥の700m位まで到達しており、被害も発生している。測量結果による最大水位は4.2m~4.3mで、検潮記録の4.32mと比較して妥当な値であった。

2.4 地下浸水被害の発生状況

写真-1は、甚大な被害をもたらした地下浸水が発生した顕著な海雲プラザである。図-3で示した出入口以外に地下駐車場出入口がある。地上の痕跡高は高くなく、地表面から約50cm程度であった。地下1Fの駐車場の被害は地表面店舗に比べてそれほど大きくなかったが、鉄製の



(1) 地下駐車場入り口



(2) 地下1F通路扉



(3) 地下2Fへの階段通路

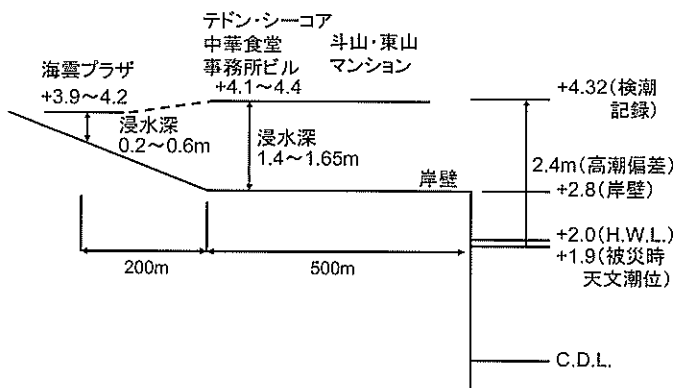


図-4 高潮検潮記録と浸水深の比較断面図



(4) 地下3Fの被害状況

写真-1 地下浸水による被害(海雲プラザ)

階段入口扉が外れており、水圧で壊されたと推測される。地下2階と3階の店舗では、天井の配管や電気系統がむき出しで、なかなか復旧が進んでいない様子であった(2003.11.01)。地下3階の機械室においても、扉を開けて機器を乾かしている状態であった。

図-5に海雲プラザの構造を示す。浸水深がそれほど深くないにもかかわらず、地下での被害が大きくなった要因は、地下1階の駐車場が貯留場のような働きをして、貯まった氾濫水が階段入口ドアを水圧で破壊し、地下2階の居酒屋、地下3階のカラオケ店に一気に流れ込んだためと考えられる。さらに、電源室が地下3階にあり、浸水により自家発電も含めて停電したため、避難を困難にさせた。駐車場の入口に止水板はなく、対策の不備が被害を大きくする一因となった。駐車場より階下に店舗を設定することは、避難を考えると非常に危険な利用法であるといえる。

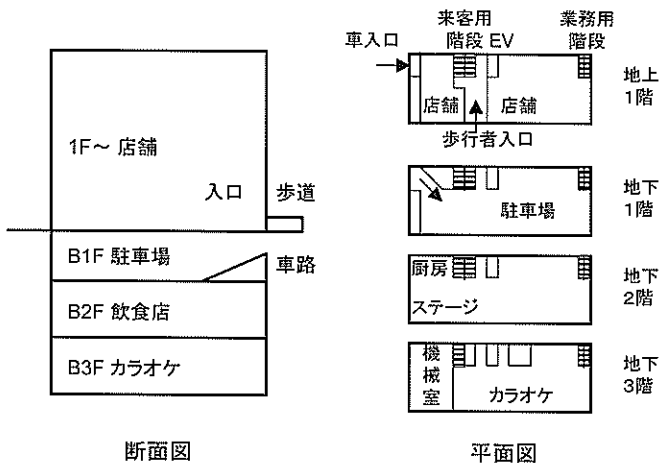


図-5 地下浸水被害が発生したビルの構造

3. 浸水解析方法

3.1 浸水解析モデル

浸水解析には、功刀(1997)が開発した自由表面を含む多相流の直接解析法(MARS法)を、臨海部市街地に適用した安田ら(2003a)の解析手法を用いた。なお、モデルの詳細は、津波を外力とした地表と地下街の浸水解析法を詳述した安田・平石(2004)を参照されたい。

計算用のデータとしては、測量した地盤高から地形モデルを作成し、建物は地図をCAD化したものを、地下施設は測量した寸法を、それぞれ用いてモデル化した。解析の入力条件には、高潮の観測値の波形(最大値+4.32m, 越流継続時間180min)を用いた。市街地における浸水状況を再現し、浸水深および氾濫水の流速を求めた。

図-2の検潮記録を入力波形として用いる。ただし、計算の簡略化のために、天文潮から実測潮位の乖離が始まる高潮初期時点から、高潮偏差の推移を直線近似で与えた。図-6に計算で用いた入力波形を示す。図中の細実線は観測記録で、太線が近似した潮位変化を示す。

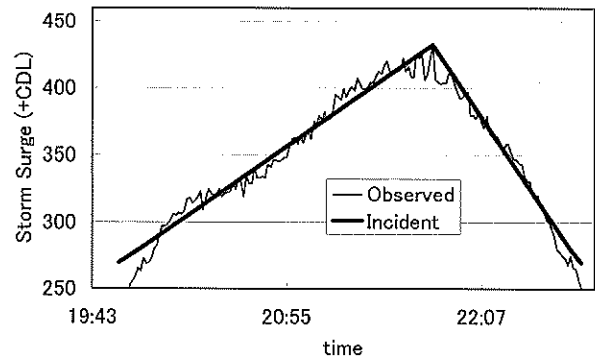


図-6 計算で用いた高潮による潮位変化

3.2 市街地地形のモデル化

図-7は浸水解析に用いた市街地モデルである。解析モデルの作成は、馬山市から入手した建物の形状まで読み取ることができる地図を元に作成した。まず、スキャナーで電子化して、CADソフト上で縮尺を整合させて建物の形状やモデル作成上で必要な情報をトレースした。浸水深以上の建物の高さ入力には不要であるが、CG作成時に臨場感出すために、高層・中層・低層というようにに区別して入力した。

地形は、水準測量データを地図上にプロットし、3つの測点を結んだ面を貼りつけて作成した。特に、地下部への斜路の構築には配慮が必要であるが、測量データ・写真などを参考に、流入状況を考慮して構築した。

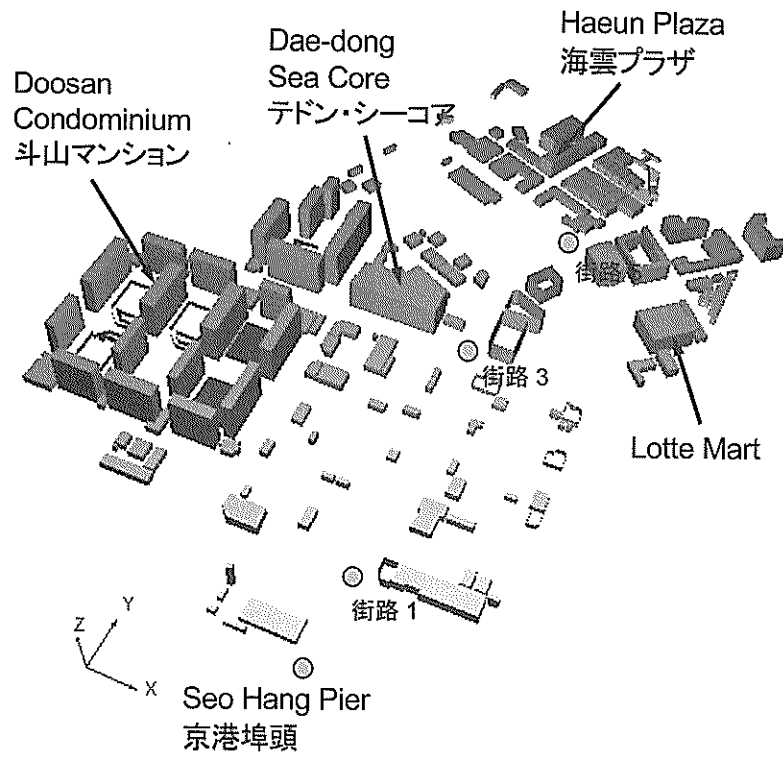


図-7 浸水解析に用いた市街地モデル

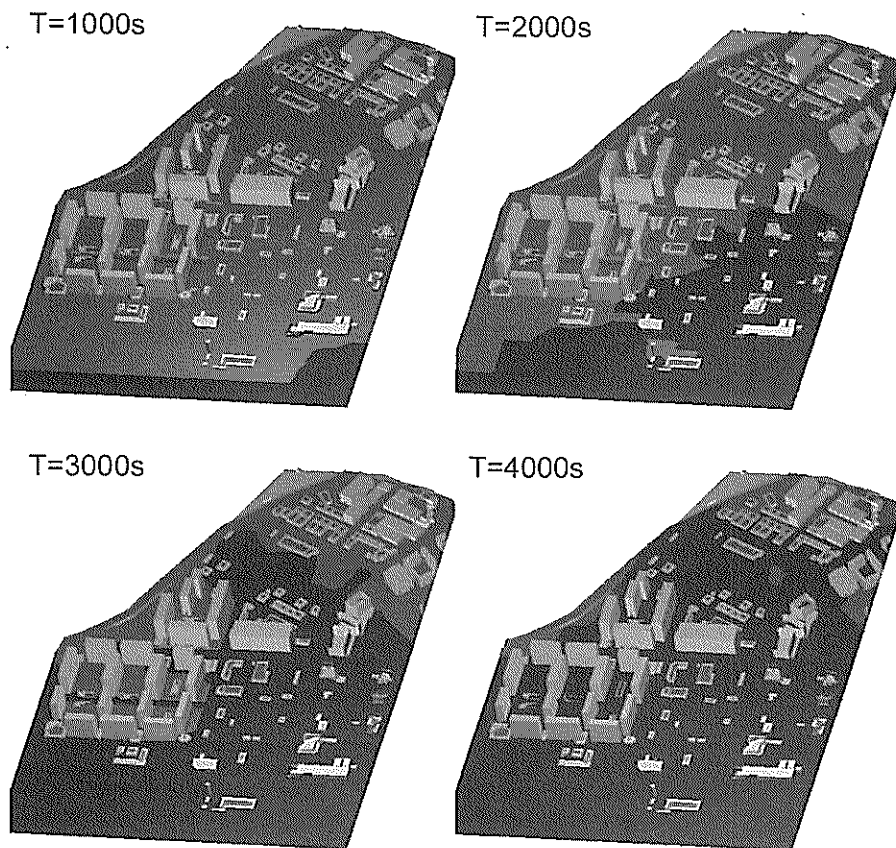


図-8 市街地の浸水状況解析結果

4. 市街地における高潮浸水解析

4.1 市街地における浸水状況

図-7 に示した市街地モデルを対象に、高潮浸水解析を行った。浸水状況の解析結果を図-8 に示す。水位変動開始後 1000s に、西港埠頭の北岸辺りから越流し始める。東西の道路に沿って浸水範囲は拡がり、2000s には南岸からも越流し始める。氾濫水の先端部は斗山マンションやテドン・シーコア・アパート周辺に到達する。3000s にはテドン・シーコア・アパートより奥の地盤が高い地域において浸水が始まる。4000s には斗山マンションの地下駐車場が

ほぼ冠水し、氾濫水の先端部も海雲プラザ周辺に到達する。

数値解析においては、岸壁前面の水位変化を入力して計算を進めている。このとき、入射境界を岸壁に平行に取っており、境界線上では、時刻毎の水位は一樣である。高潮による水位変動は局所的な地形影響を受けて変化するので、本来は、岸壁に沿って水位が一樣とは考えられない。ただし、本調査対象とした埋立区域の海側は同じ断面を有する岸壁だけで構成されているので、場所的な水位の差は小さいと仮定できる。すなわち、本計算手法は、いまのところ馬山対象地域のように海岸線が直線で表される地点のみに適用できる。

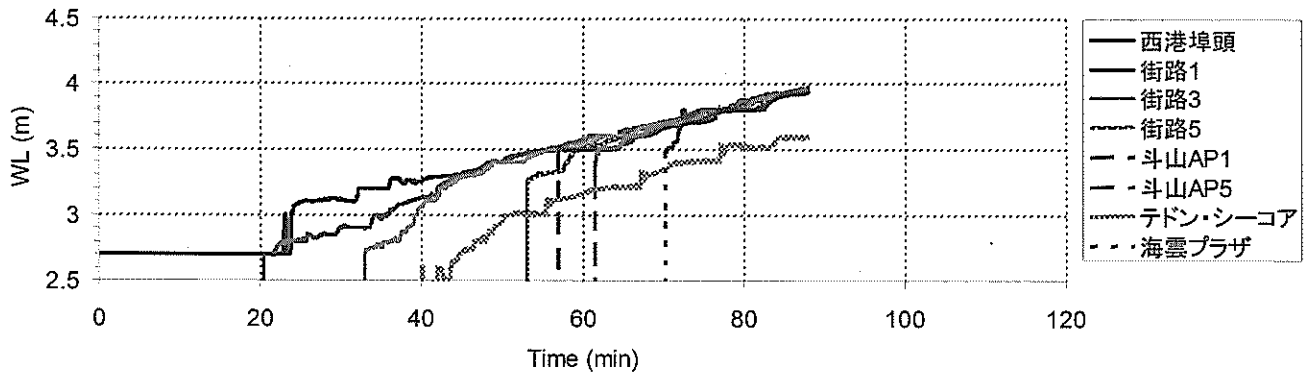


図-9 市街地における浸水深の時間変化

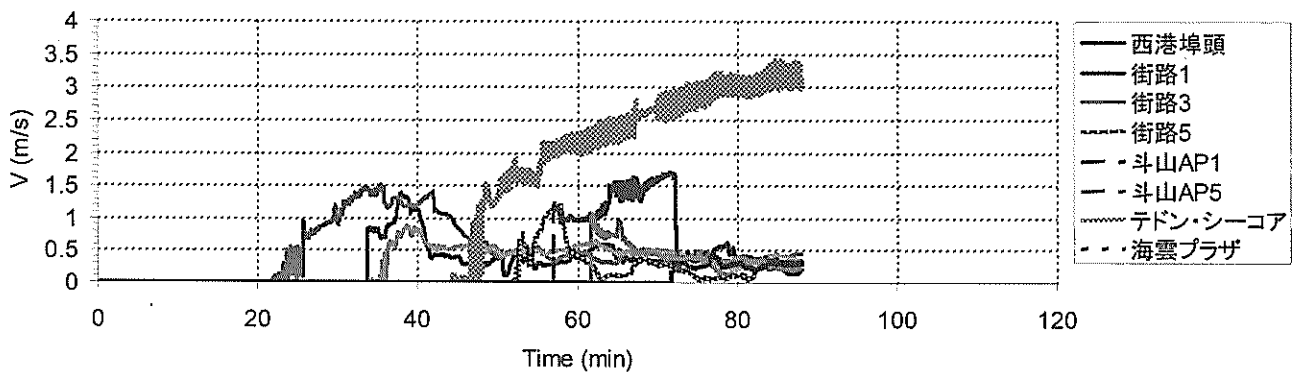


図-10 市街地における浸水流速の時間変化

4.2 浸水深および流速の解析結果

図-9 に浸水深、図-10 に氾濫水の流速の解析結果をそれぞれ示す。抽出点は、図-6 の○印で示した位置および斗山マンション、テドン・シーコア、海雲プラザの地下出入口である。

海側の点から順に水位上昇が始まり、一次関数的な変動を示している。テドン・シーコアについては、地下階層が多いので地下への流入量は多いと考えられ、水位上昇量が小さいという解析結果は妥当である。

流速については、埠頭および道路上では最大 1~1.5m/s である。斗山アパートでは、入口が岸壁に平行な AP1 の方が速く最大 1.7m/s で、岸壁と鉛直な AP5 では最大 1.1m/s 程度である。テドン・シーコアでは最大値が 3.5m/s 以上になり、地下入口斜路においては流速が 4m/s を超える場合もあるという、安田ら(2003b)の実験結果とよく一致している。こうした流入量が多く、流速の速い地下駐車場出入口のスロープを、人が上って避難するのは非常に困難だということがわかる。一方、海雲プラザでは流速はほとんど上昇し

ておらず、地下駐車場に静々と浸水していき、下層に居た人達が全く気づかなかった様子が窺える。

5. 浸水対策施設の効果

海雲プラザは、岸壁から約 600m 内陸側には離れているものの、海から緩い坂がやや下りかけた場所に位置する。地下駐車場の入り口は、DL+3.375m、1F のファーストフード玄関で DL+4.0m であり、高潮最高潮 DL+4.32m に比べると数十 cm 低いため、一度地表に水が溢れると、地下への浸水が生じる危険性が高い。海雲プラザの地表 1F はファーストフード店と電気器具店、地下 1F は駐車場、地下 2F はレストラン、地下 3F はカラオケステージになっており、地下 3F で閉じこめられた方が 8 名亡くなっている。本研究では、1カ所で最も多くの方が亡くなった海雲プラザにおける地下浸水の状況を詳細に解析し、数値解析によって高潮対策施設の効果を検討した。

5.1 海雲プラザの浸水解析

全体解析では、550m×800m という広域になり、平面的な格子間隔は数m程度になる。この格子間隔では、ビル内の地下室の形状は再現できないので、海雲プラザ内は 10cm の 3次元格子で再現することにした。そして、全体領域の解析で、海雲プラザ地下駐車場入り口付近の水位変化を計算しておき、その時系列水位変動を入力波として地下室への浸水を計算した。なお、ビル内の形状は、詳細設計図が入手できなかったため、直接、現地で距離計を用いて測定したデータから構成しており、実際の形状とは若干の誤差が生じていると思われる。

図-11 に数値計算で用いた海雲プラザの立体地形を示す。図-12 は、全体計算で解析した海雲プラザ近傍の水位変動であり、地下浸水解析の入力波形になる。

現地調査で明らかになったことは、地下 1F の駐車場から地下 2F へ移動する通路は、中央部の階段のみであり、階段室が密閉されておれば、地下 2F 以下への浸水は生じなかったことである。実際には、地下 1F の階段通路への入口の扉は破壊されており、地下 1F に溜まった水の荷重により扉本体が押し流されたものと考えられる。そこで、本研究では、地下 1F がほぼ満水状態となる地下への流入開始後 $t=1200s$ 後に、扉が破壊され通路から海水が落下しはじめたものと仮定して、地下室への浸水を計算する。

図-13 は、海雲プラザ内の浸水状況を示したものである。 $t=1200s$ で地下 1F は、ほぼ満水になってしまうが、地下 2F および地下 3F への浸水は見られない。階段通路を計算上、開放すると海水が一挙に流下し、 $t=1800s$ 後には地下 3

F まで、ほぼ満水状態となる。したがって、地下室への浸水が発見されたならば、できるだけ素早い避難が必要であることが分かる。

図-14 は、地下室内の各フロアの時間的な水位変化を示したものである。最も下段に示した曲線が地下 3F の水位変動で、1200s 後から水位は上昇し、約 1000s 後には満水になってしまう。図-15 (1) は階段室の流速変化を示したもので、地下 1F の踊り場では、瞬間的に計算上は、最高 3.7m/s の流速が生じ、その後も、2m/s 以上の流速で海水が流入を続けるので、避難は困難である。なお、図-15 (2) に比較のために、地下駐車場の扉が最初から開いていた場合の数値解析結果を示す。この場合は、浸水当初から海水が流入するために、階段室の流速は最高で 2.7m/s となり、やや小さくなるものの、避難に困難な状況であることには変わりなく、地下室の浸水深もほとんど変化していない。

5.2 浸水対策施設の効果予測

ここでは、浸水対策施設として以下の 2 ケースを提案した；

- 1) 海岸の岸壁背後に高さ 1.0m の防潮壁を建設する。
- 2) 海雲プラザ地下駐車場入り口に高さ 0.5m の止水板を設置する。

(1) 防潮壁の効果

最初に、防潮壁の効果を調べた。図-16 は、高潮による氾濫計算開始後 6000s および 8000s 後の計算市街地における浸水状況である。計算開始後 6000s 後までは、図の青色（岸壁区域）と白色（市街地）の間に設定した防潮壁の効果により市街地への浸水は生じていない。前出の図-8 では、計算開始後 4000s 後には、すでに埋め立て地のほとんどが浸水していた。したがって、市街地の浸水開始時刻を遅らせて、避難するための時間的な余裕を作るためには、防潮壁が効果的である。したがって、岸壁における越流を観測した後に、ただちに避難警報を発信すると十分な避難時間を確保することができる。夜間や荒天時における岸壁や護岸前面での水位変化を視認することは難しいが、越波監視計（永井ら、2003）を活用することによって、越流や浸水の状況をモニタリングするも可能である。

防潮壁を海水が越えると、高潮最高潮位が市街地の地表面より高いために、8000s 後には、海雲プラザ付近まで浸水してしまうが、高潮による潮位は、すでに低下しはじめており、市街地の総浸水量は小さくなっているものと思われる。なお、詳細解析の対象となる海雲プラザ駐車場入り口における最大浸水深(地表面を CDL+3.375m とする)と高潮到達時刻(岸壁地点で潮位上昇が始まった時刻を 0 とする)を比較すると以下ようになる；

1) 防潮壁が無い場合（現況）

最大浸水深：1.014m， 到達時刻：3858s

2) 高さ 1m の防潮壁がある場合（対策工）

最大浸水深：0.257m， 到達時刻：7490s

このように本解析モデルを用いると，対策工による浸水深の減少や浸水開始時刻の遅れなどが予測できる。

(2) 止水壁の効果

次に駐車場の斜路入り口に，高さ 0.5m の止水壁を設置した。本計算ケースでは，地表からの浸水深が最大で 1m になるので，1m 以上の止水壁を設けなければ，地下室内への浸水そのものを止水壁で抑止することはできない。しかし，最大浸水深よりも低い止水壁であっても，地下室内の浸水時刻や流速を抑制することが期待できるので，詳細解析を行った。

図-12 と同様な浸水状況を解析した図面から，詳細計算開始 8000s 後までの海雲プラザ内の状況を検討した。止水板が無い場合には，600s 後には，すでに地下 1F への浸水が始まっていたが，止水板を設置すると，1800s まで全く流入は生じず，2100s 後になって地下 1F の浸水が顕著になってくる。したがって，浸水そのものを抑止できなくても，地下駐車場への流入を遅らせて避難を容易にするためには止水板の効果は大きい。なお，地表部と地下街における浸水の状況をアニメ化して付録のデジタルディスクに収納しているので参照にされたい。

図-17 に地下街の各フロアでの浸水深の変化を示す。止水板が無い場合の図-14 に比べると，最高浸水深の差が現れている。すなわち，地下 1F の駐車場では，止水板が無い現況では，初期水位(水が無い床面に相当する)から 3m 程度の室内で浸水が生じている。これに対して，止水板を設置すると，浸水深は最高で 1m 程度になり，水没する施設被害は小さくなる。

地下 2F においても，最大浸水深は，4m であったものが 1.5m 程度になっており，止水板の効果が定量的に把握できる。なお，階段室内の最高流速は止水壁がある場合でも，最高で 3.5m 程度に達するため，浸水が始まってからの避難は困難で，地表面の浸水状況に応じて早急に避難を開始することが重要である。

なお，本解析では高潮潮位の最高値を CDL+4.32m としているので，止水壁をわずかに越えて地下駐車場に浸水が生じてしまった。高潮潮位の最高値をやや小さくし，CDL+3.92m で浸水計算を行うと，止水壁を越流する現象は生じず，地下室内への浸水被害は無かった。したがって，浸水対策においては，高潮規模を予想して適切な高さの止水壁を設置する必要がある。

最後に浸水対策工の効果を定量的に示すために，市街地氾濫計算開始後に各フロアが満水になる時間と階段での最大流速の比較を表-1 に示す。地下 1 階のドアは常に開放されているとした。

表-1 対策工による浸水時間の遅れと流速の減少

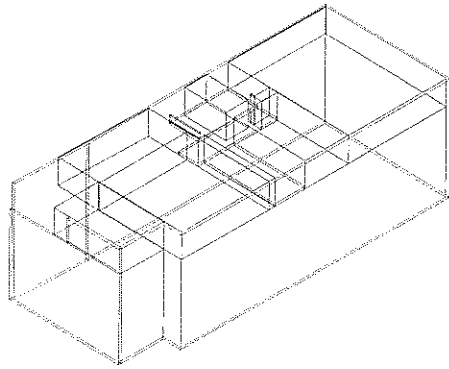
ケース	対策無し	1m 防潮壁	0.5m 止水板
地下 1F 浸水開始	4048s	7690s	4150s
地下 1F 満水	6300s	---	---
地下 2F 満水	6207s	---	8974s
地下 3F 満水	5840s	---	7444s
斜路	1.74m/s	1.2m/s	1.16m/s
地下 2F 階段	2.20m/s	微小	2.05m/s

なお，表中で，---は，フロアが満水にならないことを示す。実際の対策では，海岸付近で防潮壁を設置して，浸水時刻を遅らせ，その間に各危険施設の止水壁を活動させて地下への浸水を抑止する工夫が望ましい。

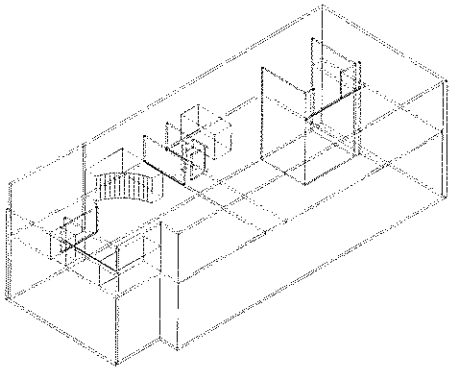
6. まとめ

高潮による浸水被害を受けた馬山市において，地盤高および痕跡値の現地調査を実施した。さらに，MARS 法による 3 次元浸水解析を行い，痕跡値と比較した。さらに計算によって高潮浸水対策施設の効果を検討した。主要な結果は以下のである。

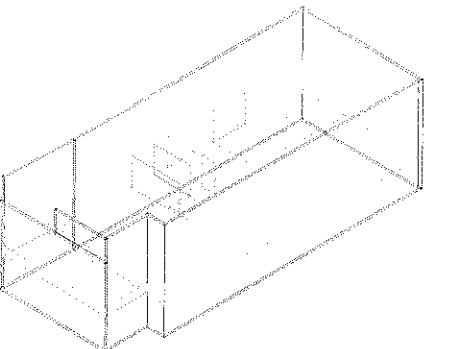
- (1) 測量結果による最大水位は 4.2m~4.4m で，検潮記録の 4.32m と比較して妥当な値であった。
- (2) 浸水被害が大きかった市街地は主に埋立地であり，地盤高は岸壁から 500m 位までは H.W.L.+0.8m 程と低い。それより奥の 700m 位まで氾濫水は到達していた。
- (3) ヒアリングの結果，貯木場に保管されていた数百本の木材が市内に流れ込み，被害を大きくしたことがわかった。
- (4) 流入口が広い地下駐車場よりも下層に店舗が設定されるという，建築構造上の欠陥が被害を大きくした一因であることが明らかになった。また，電源室は地下にある場合が多く，浸水による停電を防ぐためにも，階上に設けることが望ましい。
- (5) 浸水解析結果を痕跡値の測量結果と比較したところ，浸水状況をほぼ正確に再現することができた。今後の対策案の検討に本解析モデルを用いることができる。
- (6) 高層アパートが多いため地下駐車場が数多く存在しているが，止水板の設置は確認できず，常備されていないものと思われる。



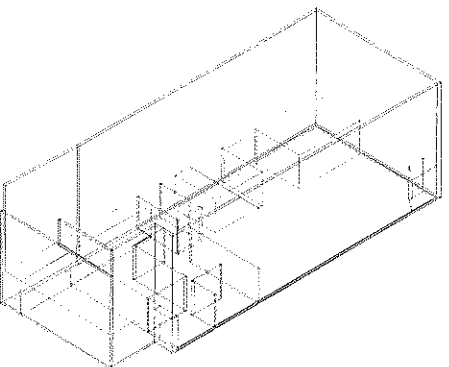
(1) 地表 1 F



(2) 地下 1 F



(3) 地下 2 F



(4) 地下 3 F

図-11 海雲プラザの浸水計算地形

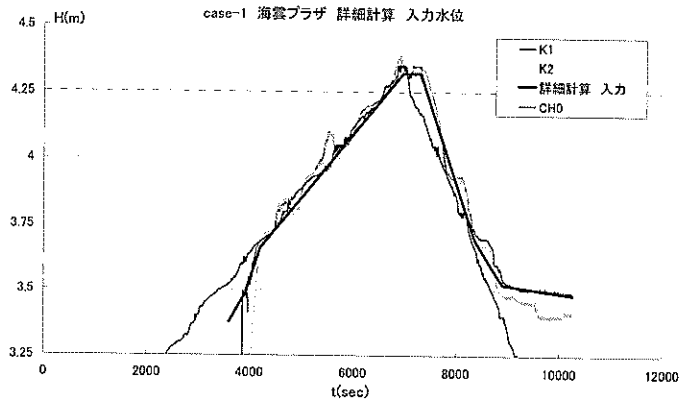
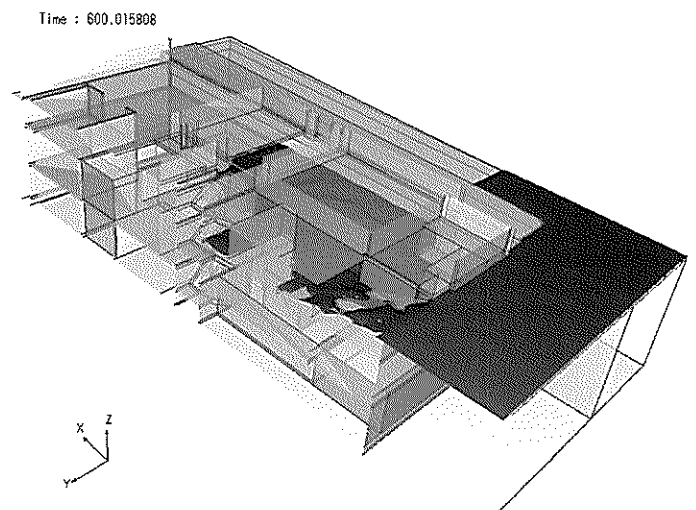
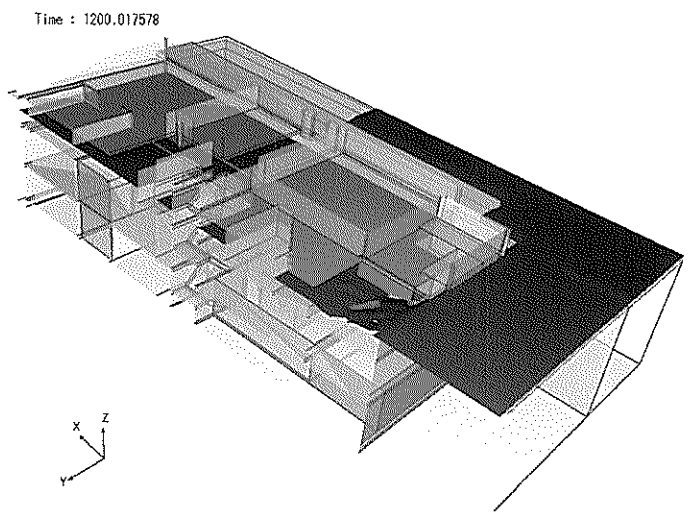


図-12 海雲プラザ浸水計算用の入力波形

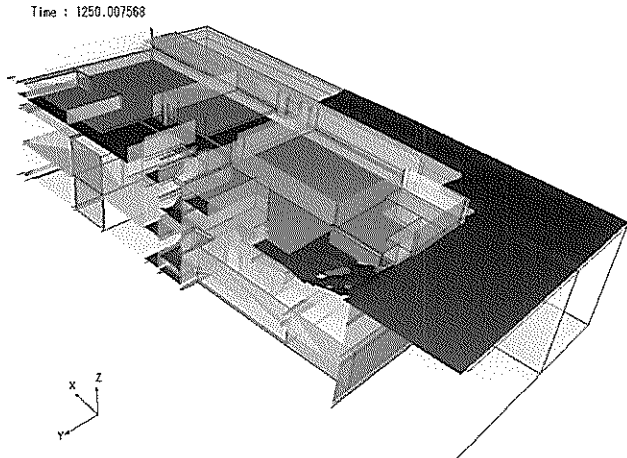


(1) 浸水開始 600s 後

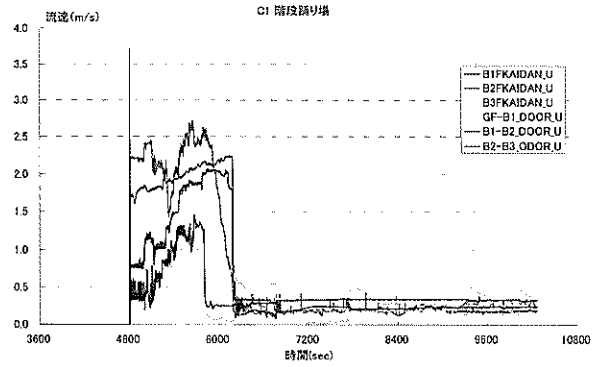


(2) 浸水開始 1200s 後

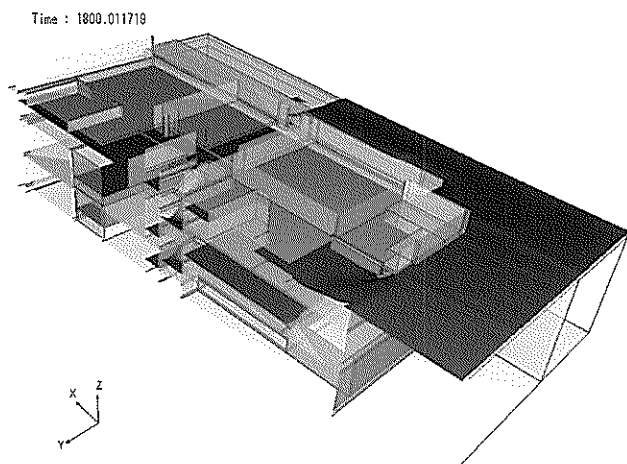
図-13 海雲プラザにおける地下浸水状況



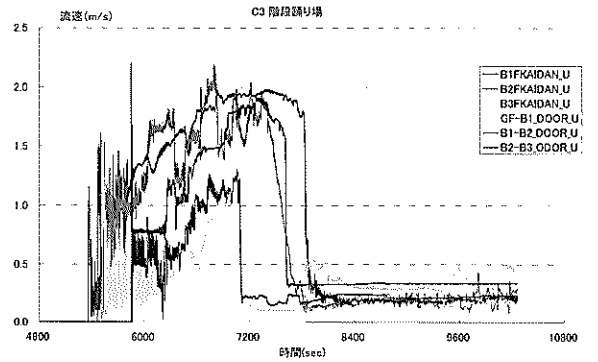
(3) 浸水開始 1250s 後



(1) 1200s 後に地下 1 F 通路扉を破壊した場合



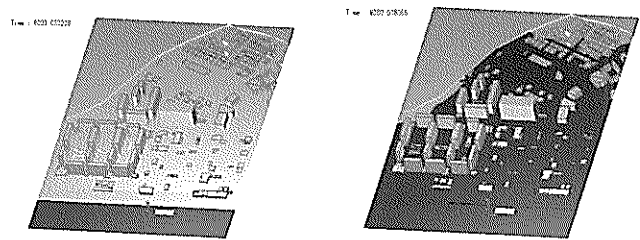
(4) 浸水開始 1800s 後



(2) 地下 1 F 通路扉を初期から開放した場合

図-15 階段室内の浸水流速の時間変化

図-13 海雲プラザにおける地下浸水状況



(1) t=6000s

(2) t=8000s

図-16 防潮壁(高さ 1m)設置後の浸水状況

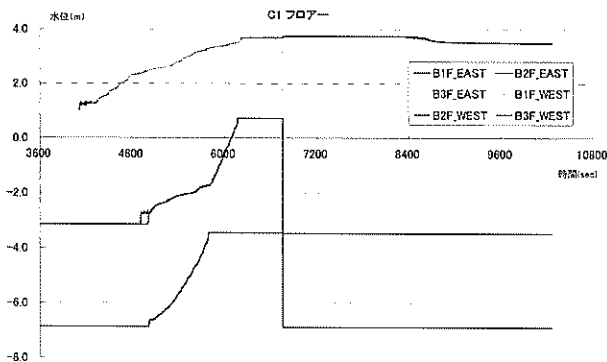


図-14 海雲プラザの地下街における計算水位の変化

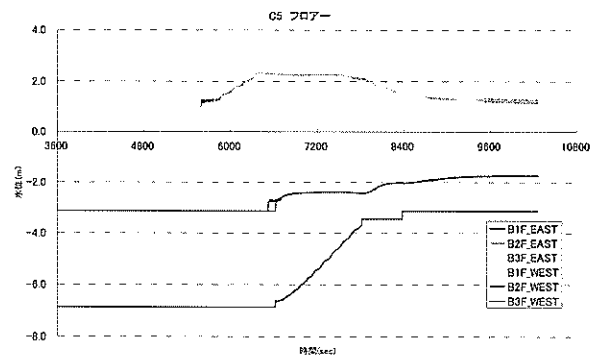


図-17 止水板を設置した地下街における水位変化

- (7) 浸水対策として、海岸部の防潮壁と地下駐車場入り口における止水板の設置を提案した。
- (8) 岸壁背後に高さ 1m の防潮壁を設置すると、浸水開始時刻を 1 時間以上遅らせることができ、浸水深も小さくなる。駐車場入り口の止水板は、地表からの浸水深よりも高くすることが必要である。ただし、浸水深より低くても、室内における浸水時刻および浸水深を低下させる効果がある。

なお、現地調査においては、韓国海洋研究院の姜始桓氏、支遠武氏、白元大氏、金昌一氏に多大なる助力をいただいた。また、馬山市関係各位から、浸水被害状況に関する貴重な資料を提供していただいた。ここに謝意を表す。さらに市街地地形モデルの構築と数値解析に尽力いただいた(株)フジタ 技術センター 永瀬恭一氏に感謝する次第である。

最後に、本研究は平成 13～15 年度科学技術振興調整費による「都市複合空間水害の総合減災システムの開発に関する研究」の一環として実施したことを付記する。

(2005年3月31日受付)

参考文献

- Choi, B.H.(2004): Coastal Disasters due to typhoon Maemi, 韓国海岸・海洋工学会, Waves and Storm Surges around Koreak Peninsula, pp.1-34.
- 河合弘泰・富田孝史・平石哲也・安田誠宏(2005): 台風 0314 号による大韓民国馬山湾の高潮の現地調査と数値計算, 港湾空港技術研究所報告, Vol.44, No.1, pp.3-22.

- 功刀資彰(1997): 自由界面を含む多相流の直接数値解析法, 日本機械学会論文集(B 編), 63 巻 609 号, pp.1576-1584.
- 後藤恵之輔・李 成林(2004): 2003 年 9 月台風 14 号による韓国南部災害, 土木学会誌, vol.89, no.3, pp.55-58.
- 永井紀彦・平石哲也・服部昌樹・安田誠宏・高山俊裕(2003): オンサイト越波計の開発と現地適用性, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.626-630.
- 高山知司・雨森洋司・間瀬 肇・金 泰民・姜 閔求・河合弘泰(2004): 台風 0314 号による釜山沿岸の高潮・高波災害, 海岸工学論文集, 第 51 巻, pp.1371-1375.
- 安田誠宏・平石哲也・永瀬恭一・島田昌也(2003a): 流体直接解析法による臨海部の浸水リスク解析, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.301-305.
- 安田誠宏・平石哲也・稲垣茂樹(2003b): 臨海部の津波氾濫に関する模型実験, 海岸工学論文集, 第 50 巻, pp.271-275.
- 安田誠宏・平石哲也(2004): 臨海部の複層都市空間における MARS 法を用いた高精度な浸水解析, 港湾空港技術研究所報告, Vol.43, No.2, pp.3-34.

記号表

- C.D.L.* : ここでは馬山湾基準水面:
- D.L.* : 地表面の基準水面からの高さ
- h* : 浸水深または水深
- t* : 時間
- v* : 水平流速
- W.L.* : 基準面からの水位
- Δt : 計算時間間隔
- Δs : 計算格子