

3.3 不連続性のある護岸の検討

人が出入りする等の機能を持たせるため、護岸に開口部をもった箇所がある。このような護岸は、護岸の高さが潮位より高くても、凹んでいる部分からの浸水がある場合もあり、危険性があると考えられる。図3.11は、不連続性の護岸がある場所を示した図である。今回の調査範囲では、高松漁港で7箇所、浜ノ町で1箇所存在する。

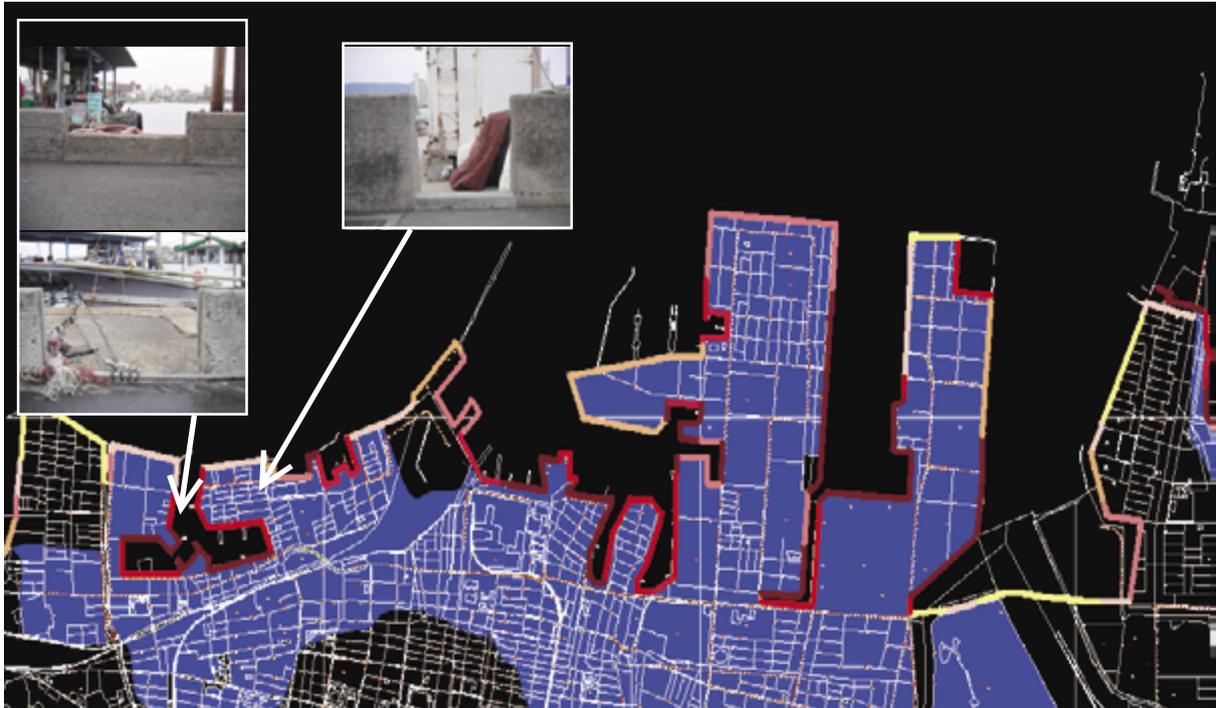


図3.11 不連続性のある護岸箇所

(1) 高松漁港

不連続性のある護岸は、高松漁港に7箇所存在していた。これらの護岸の形状は、2通りある。一つは図3.12のように、護岸高さと同じ開口部を持つもの、もう一つはわずかな開口部をもつ護岸である。今回の台風0416号では、最高潮位がTP+2.46mの高さで、測量結果では高松漁港付近の護岸で一番高い部分も潮は越えてきたものと考えている。従って、今回は開口部の影響があったかは不明であるが、今後は高潮や津波対策として不連続箇所の閉塞を検討することは必要と思われる。

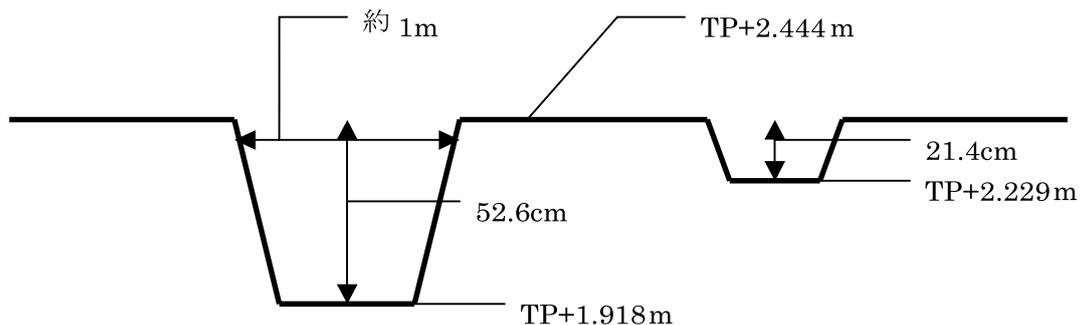


図3.12 高松漁港での不連続性のある護岸

(2) 浜ノ町での不連続性のある護岸

不連続性のある護岸がある場所は、図3.8-⑥の場所の一箇所である。この場所は護岸の高さは約TP+2.9mである。しかしこの凹んでいる部分の護岸高さはTP+2.1mと浸水域となっている。今回の台風では、この場所からの浸水があったと考えられる。従って、今後の大きな高潮、津波の発生に対処するには、こうした護岸箇所を閉塞する機能をもたせることが必要と考えられる。図3.13は、不連続性のある護岸の諸元を示したものである。

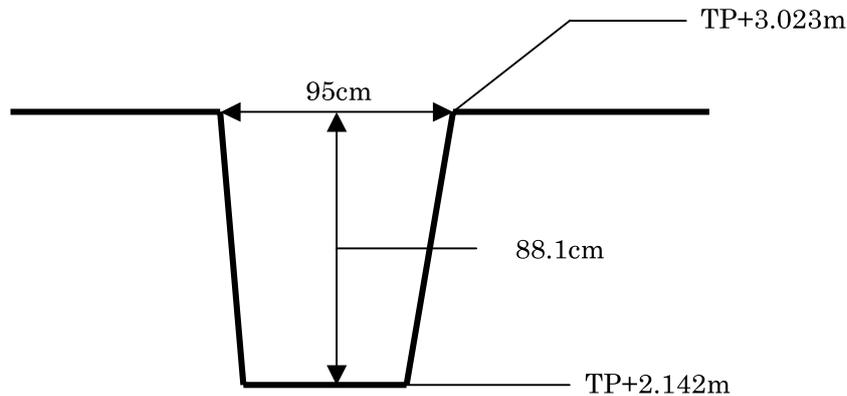


図3.13 浜ノ町での不連続性のある護岸

3.4 護岸と被害状況

3.4.1 高松市全体の護岸高さの検討

測量結果のデータをもとに、高松市全体における護岸高さの割合を検討した。

高松市の護岸場所全域で護岸高さの割合を図3.14、図3.15に示した。図3.14は護岸高さTP+2.46m以下とTP+2.47m以上の護岸距離の割合を示したものである。図3.15は、TP+0～2m、TP+2～2.25m、TP+2.25～2.46m、TP+2.46～3m、TP+3～3.5m、TP+3.5～4、TP+4m以上、の7つに分けてその割合を示したものである。

図3.14より、高松市全体ではTP+2.46mを下回った護岸は54%もあり、今回の台風0416号の最高潮位は半分以上の護岸を超えて浸水してきていることが明らかになった。そして図3.15より、標高2m

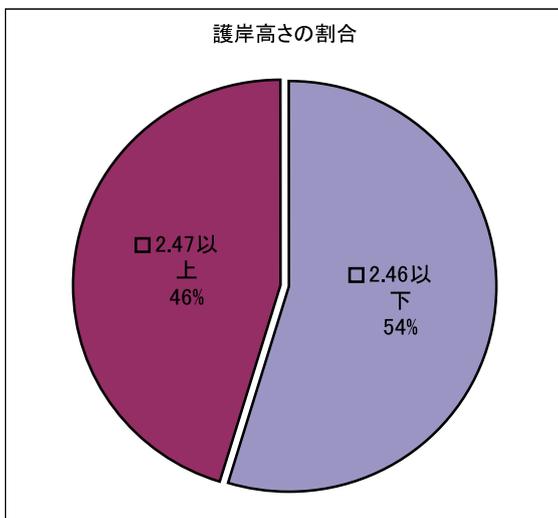


図3.14 高松市護岸高さの割合

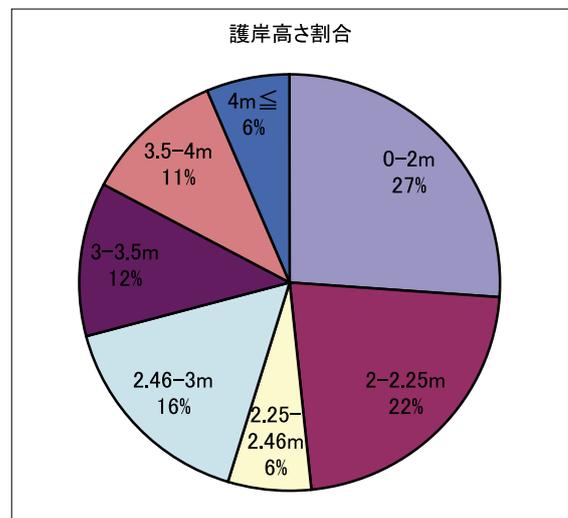


図3.15 高松市護岸高さの割合

以下の護岸高さのものが高松市全体で25%もあり、それが一番多くの割合を占めていることが判った。また2.5m以下の低い護岸は全体の47%を占めており、高松市の護岸の高さは全般的に低いと思われる。高松市の護岸の傾向としては、瀬戸内海に面している北側の部分の護岸・堤防は比較的高い護岸で整備されており、東側と西側の護岸で低い護岸が多い傾向にあると言える。

3.4.2 地域別の護岸高さと被害状況

図3.16～図3.23は、地域別の護岸の高さの割合を示したものである。対象地域は、屋島西団地、朝日町（東地区）、朝日町（西地区）、フェリー乗り場周辺、サンポート周辺、瀬戸内町周辺、浜ノ町周辺、新北町の8箇所である。護岸の高さは、TP+0～2m、TP+2～2.25m、TP+2.25～2.46m、TP+2.46～3m、TP+3～3.5m、TP+3.5～4、TP+4m以上の7つに分けて示した。

(1) 屋島西団地（図3.16）

TP+0-2m、TP+2-2.25mなどの護岸の低いところは多少あるものの、ある場所は直接海から受ける護岸ではなく、川の堤防なので大きな浸水はあまり考えられない。海から直接受けるところは、TP+3-3.5m、TP+3.5-4m、4m≤の高さを占めるものがほとんどであった。よってこの地域は比較的安全な地域と思われる。

(2) 朝日町（東地区）（図3.17）

この場所は、グラフを見る限りではTP+0-2m、TP+2-2.25mが多くを占めている。従って、比較的護岸の低い地域と言える。特に南東箇所の護岸はかなり低く、また松島町や上福岡町などの地盤が低いことから、朝日町東地区の南東箇所からの浸水により大きな被害を受けたものと見られる。

(3) 朝日町（西地区）（図3.18）

この場所も、TP+0～2mの範囲が29%も占め、TP+0～2m、TP+2～2.25mを入れると50%に近い値を示しており、全般的に標高の低い地域だと言える。

(4) フェリー乗り場周辺（図3.19）

TP+2.25m以下が100%である。従って、全ての護岸から浸水したと思われる。この場所は高松市で最も低い地域と言える。TP+2m以下が約55%あり、非常に低く大変危険な地域であると思われる。

(5) サンポート周辺（図3.20）

TP+4m以上の護岸はないが、比較的高い護岸が多く、安全である。

(6) 浜ノ町周辺（図3.21）

TP+0～2m、TP+2～2.25mと、低い護岸が5割以上も占めている。この場所は高松漁港があるため、護岸の低い部分が目立ってしまうが、北側の護岸や的場健康体育センターがある場所などは、比較的高くなっていると思われる。

(7) 瀬戸内町周辺 (図3.22)

ここも高松漁港があるため、TP+2.25m以下の護岸が6割以上占めている。漁港以外の場所は、比較的高い値となっている。

(8) 新北町 (図3.23)

この地域は浸水がなかったということからも、護岸の標高が高い地域であると予想できる。グラフを見てみるとTP+4m以上が約7割を占め、護岸高さは高い地域と言える。今回の台風0416号の最高潮位を下回る護岸は全くない。

(9) 全体を通して

地域ごとを比較して、フェリー乗り場、浜ノ町、瀬戸内町など港や漁港がある地域は、護岸の低い地域になっている。特にフェリー乗り場周辺は、護岸の低い場所が他の場所と比べて多くあり、TP+2m部分のところが大部分を占めている。また、フェリー乗り場はTP+2.25m以上はなく、護岸の低さが目立つ地域である。逆に新北町周辺は、TP+2.46m以上の高さで、護岸標高の高い地域である。このように、地域によって護岸の高さに大きな違いがあることがわかる。

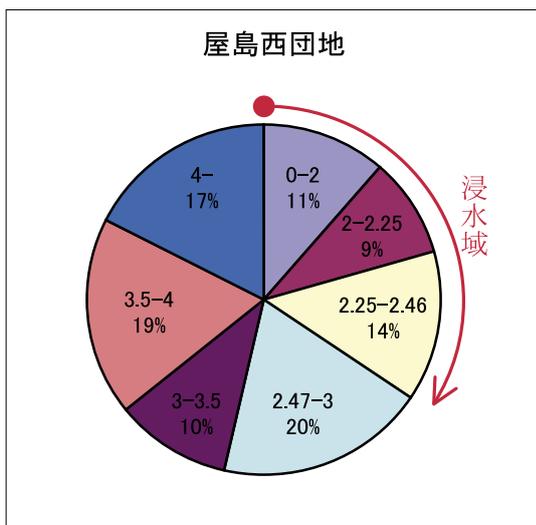


図3.16 屋島西団地護岸高さの割合

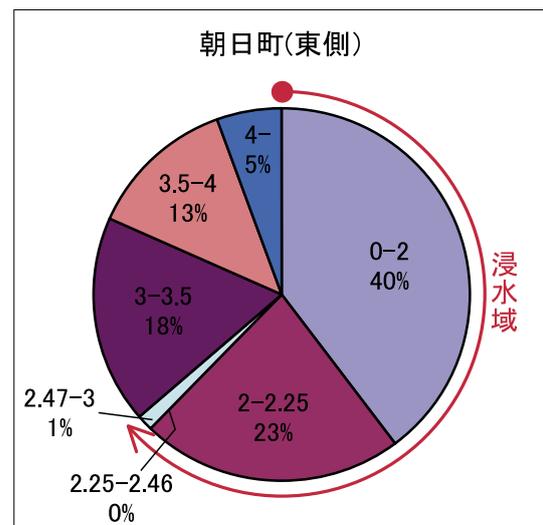


図3.17 朝日町東地区護岸高さの割合

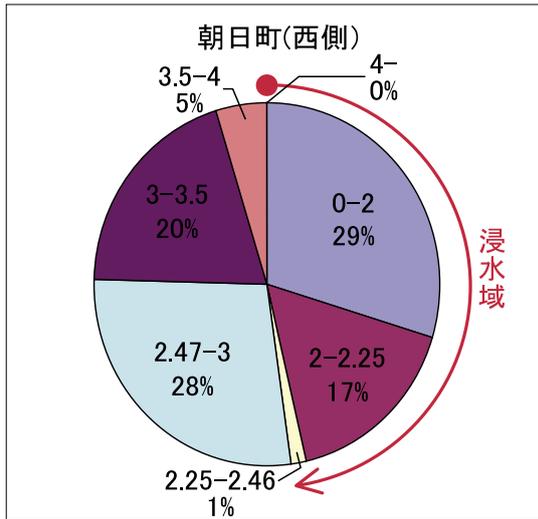


図3.18 朝日町西地区護岸高さの割合

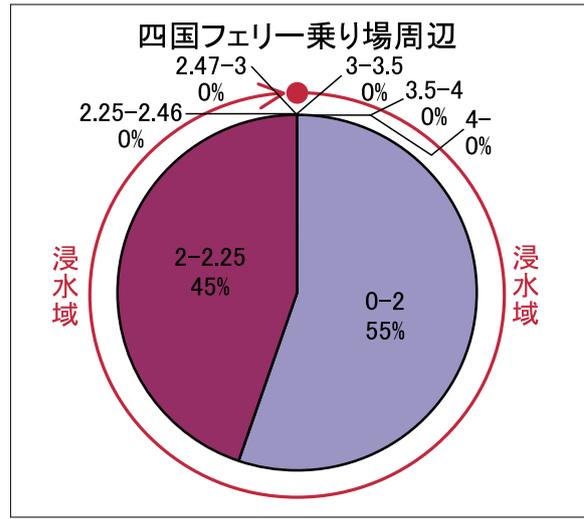


図3.19 フェリー乗り場周辺護岸高さの割合

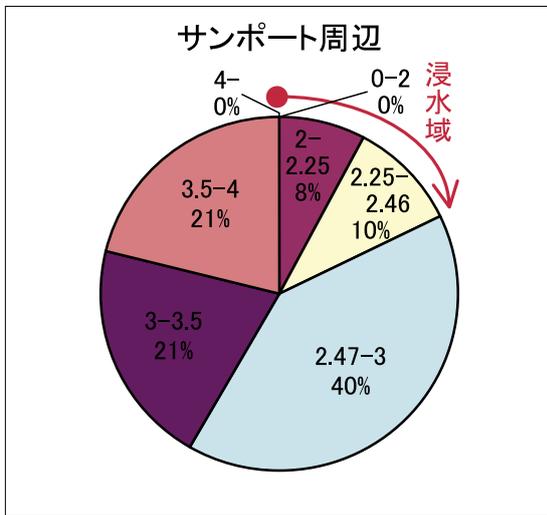


図3.20 サンポート周辺護岸高さ

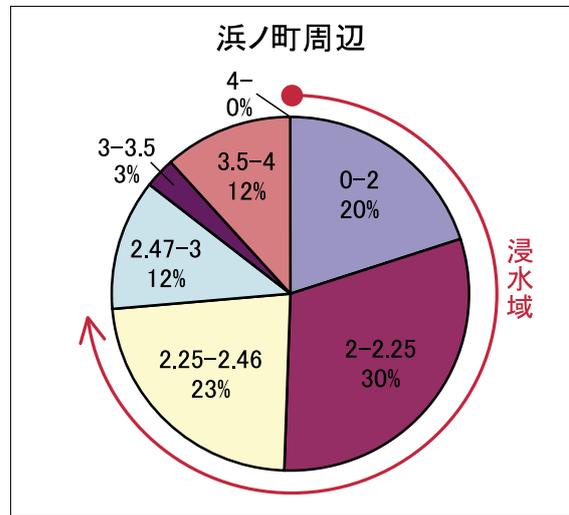


図3.21 浜ノ町周辺護岸高さの割合

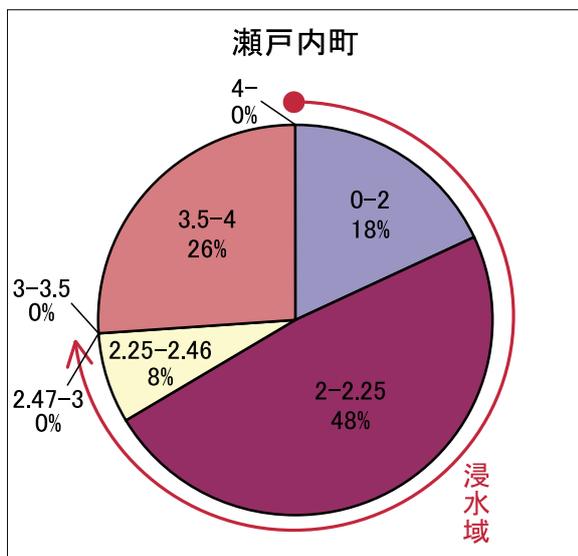


図3.22 瀬戸内町護岸高さの割合

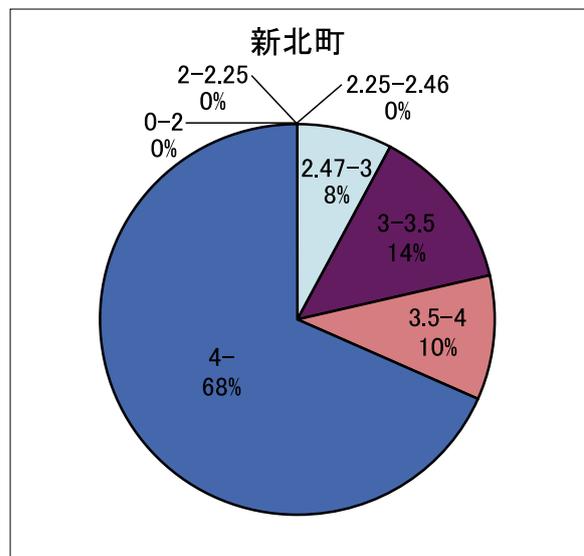


図3.23 新北町護岸高さの割合

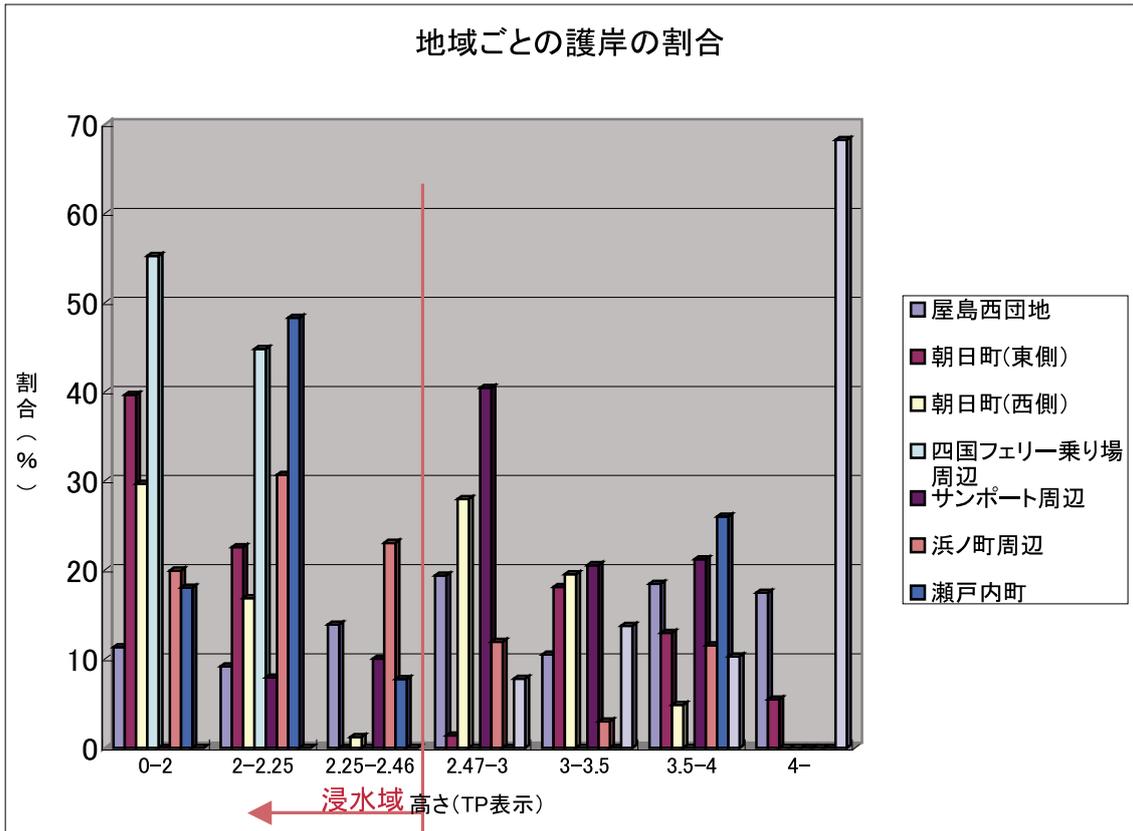


図3.24 地域ごとの護岸高さの割合

3.5 危険箇所の判定

3.5.1 標高から見た護岸の危険場所

護岸の標高を見てみると、一番低い場所は図3.6フェリー乗り場周辺での⑩の部分で約TP+1.7mであり、高松市で測量範囲の中で最も低い場所である。2番目は、図3.5朝日町での①の部分で、約TP+1.8mとなっており同様にかかなり低い。3番目は図3.6北浜町北のフェリー乗り場周辺の⑦でTP+1.8～1.85mの場所である。次に低い場所は図3.5の⑦の場所のTP+1.8～1.9mである。次が図3.8の⑩～⑪の場所で、TP+1.9～2.0m程度と低い。

表3.1 護岸高さから見た危険場所ランキング

1	フェリー乗り場西側道路沿いの護岸
2	朝日町東地区の南西側の護岸
3	北浜町北の道路沿いの護岸
4	ジャンボフェリーの乗り場周辺の護岸
5	高松漁港南側道路沿いの護岸（浜ノ町側）



図3.25 高さを考慮した護岸の危険場所ランキング

3.5.2 浸水被害から見た護岸の危険場所

1番の危険箇所だと思われる場所は、朝日町西地区南東側の護岸である。ここはTP+1.8~1.9mとかなり低い値であり、さらにここから南に行くほど低くなっているため、松島町などの地盤が低い場所まで浸水してしまうからである。2番目に危険な場所は、朝日町東地区東側の護岸であると考えられる。この場所も護岸がTP+2m以下であり、ここも南に行くほど地盤が低くなっているためである。3番目はジャンボフェリー乗り場周辺の護岸である。この場所も朝日町東地区にあり、TP+2m以下であるので、南に流れていってしまう恐れがある。4番目は北浜町北の道路沿いである。フェリー乗り場周辺はかなりの護岸の低さであり、特にこの場所にはTP+1.7mの護岸があり、最も浸水の被害に遭いやすい場所の一つと言える。

表3.2 地盤を考慮した護岸の危険場所

1	朝日町西地区東側の護岸
2	朝日町東地区南東側の護岸
3	ジャンボフェリー乗り場周辺の護岸
4	北浜町北の道路沿いの護岸
5	フェリー乗り場西の道路沿いの護岸

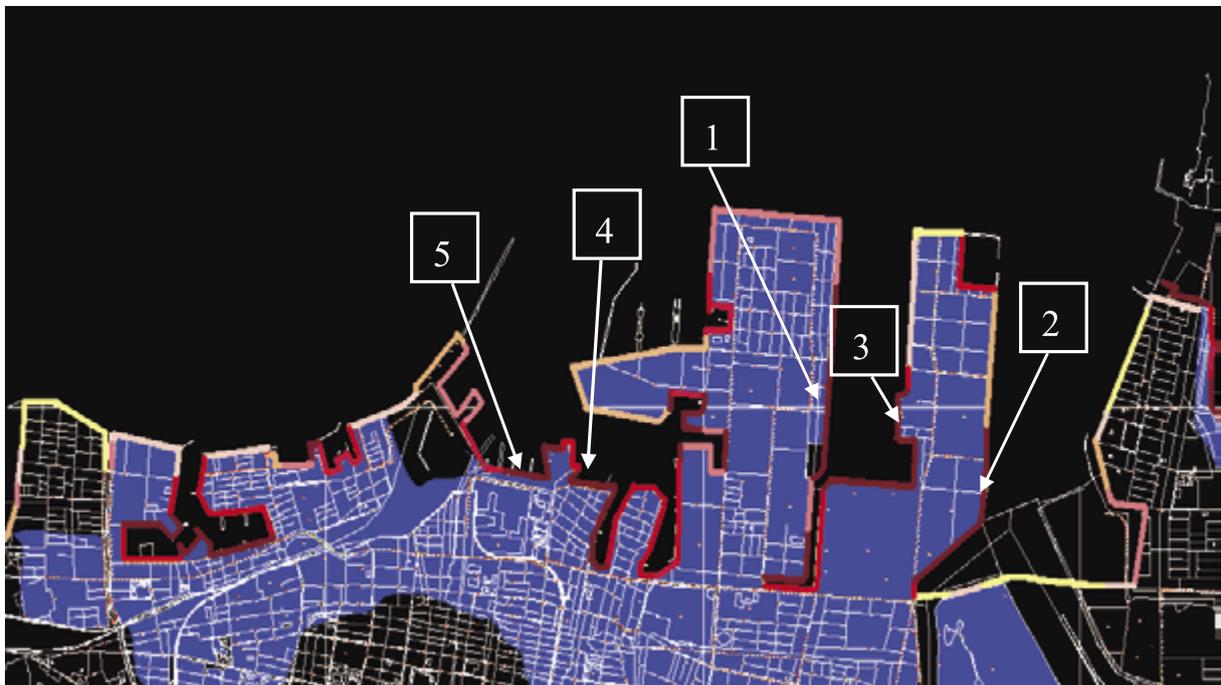


図3.26 浸水被害から見た護岸の危険場所ランキング

3.5.3 海沿いにおける危険地域

最も危険と思われる場所はフェリー乗り場である。図3.19からも見て分かるように、護岸高さTP+0～2mが5割以上を占めている場所であり、高松市で最も危険場所と思われる。2番目は、朝日町東地区である。この地域は、図3.17に示すとおり護岸の高い場所もあるが、低い場所も多く、特にそれらは直接海に面しているものが多く、危険箇所と判断される。3番目は浜ノ町である。この場所は護岸の低い場所がかなりの割合を占めているが、海に面している場所の護岸は高く整備されており、朝日町東地区よりは危険度は低いものと判断する。

表3.3 海沿いにおける危険地域

1	フェリー乗り場
2	朝日町東地区
3	浜ノ町

3.5.4 海沿いでの安全地域

1番目は、新北町である。この場所は護岸高さTP+4mを超える護岸が約5割占めている場所で低い護岸もなく、全面高い護岸で囲まれているので最も安全な地域である。2番目は、サンポート周辺である。比較的高いと思われる護岸で覆われており、サンポートの地盤も高いことから安全性が高いと判断する。3番目は、屋島西団地である。この地域も護岸は比較的高く整備されている。

表3.4 海沿いでの安全地域

1	新北町
2	サンポート周辺
3	屋島西団地

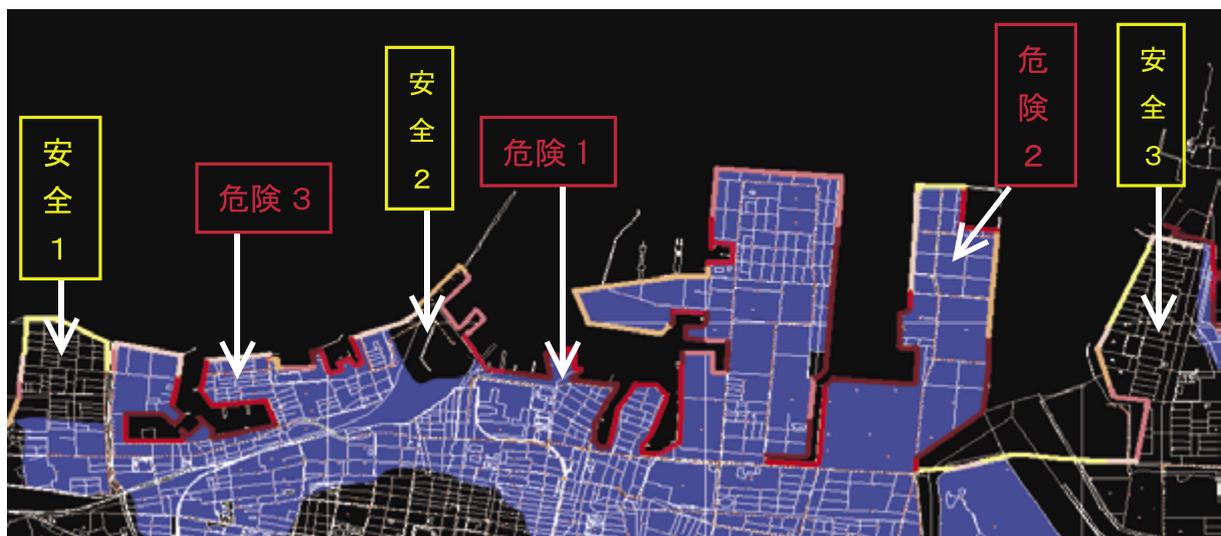


図3.27 海沿いでの危険・安全地域

4. 高松市の標高調査

4.1 CADによる標高分析

4.1.1 座標系の変換

GPS機器により算出された値は、WGS-84系に基づくもので、緯度・経度・楕円体高で出力される。これらの位置関係をわかりやすくするためには、ジオイド高に再計算後地図データに載せる必要がある。基本となるマップデータとして数値地図を用いた。数値地図では、緯度・経度ではなく平面直角座標系で表記されており、また標高データは入力されていない。四国は平面直角座標系では第4系に分類され、東経133度30分0秒0000、北緯33度0分0秒0000を原点にもつXYの値で表されている。CADでのプロット作業の簡易性等から、緯度経度データに関しては全て平面直角座標へ変換を行った。この際の計算式は以下の通りである。

$$X = (N + h) \cos \phi \cdot \cos \lambda \quad (3-1)$$

$$Y = (N + h) \cos \phi \cdot \sin \lambda \quad (3-2)$$

$$H = h - N_g \quad (3-3)$$

ただし、 ϕ = 緯度、 λ = 経度、 h = 楕円体高、 N = 卯酉線曲率半径、 N_g = ジオイド高とし、高松市付近でのジオイド高は36.7m程度である。

4.1.2 データの補完

GPSにより取得したデータは約3000点になる。衛星からの電波を受けるため、上空の開いた受信可能な衛星数とその配置が精度に影響する。特に、家屋やビルの間などでの取得は観測衛星数が限られるだけでなく、マルチパスなどにより大きくずれた値を算出することもある。P-DOP値については、同条件下で仰角15度の見通しが利く場合(図4.1)と30度の見通しが利く場合(図4.2)とを比較すると、後者では、P-DOPが3~5を上回るケースが多く、精度の確保が難しくなる。また、自位置を特定するのに多くの時間を要するため、効率も大幅に低下する。一方、私有地・立入禁止区域についても、

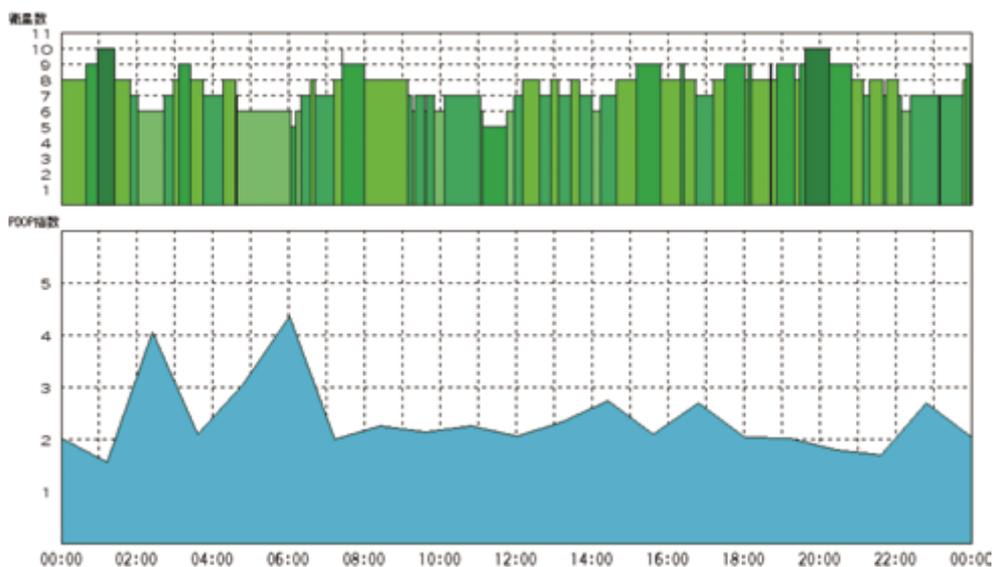


図4.1 仰角15度時の衛星情報

調査を行っていない。こうした不足点に関しては、約1000点都市計画図より抜粋することによりデータの補完を行った。

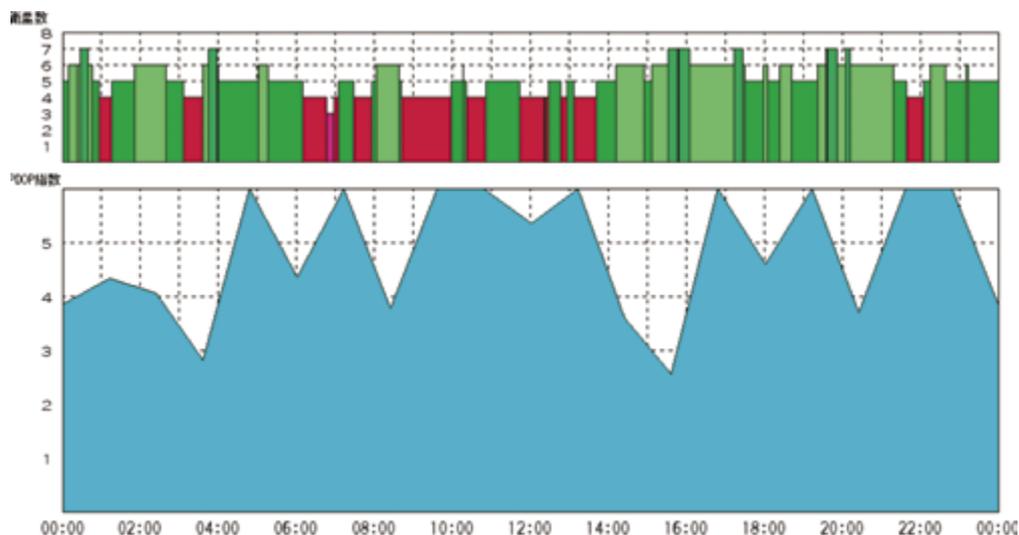


図4.2 同刻仰角30度における衛星情報

4.2 高松市内の標高図

GPSおよび都市計画図のデータをAuto CADに入力し、標高の変化の傾向などを分析したものが図4.3市内標高図である。図中、灰色の部分には鉄道軌道と水路の配置である。この図では、特に標高の低くなっている箇所を赤で、高いところほど青で表示してある。また、白色の等高線の間隔は0.5m毎である。高松市発表の浸水図と比較してみると、2.5m標高線（緑と青の境付近の黒ライン）が市内浸水範囲のラインと近似していることがわかる。図より、福岡町・木太町地区においては1.0m以下の地区が多く見られ、他地区が引いた後も潮が水たまりのようになっている状況が理解できる。なお、本データは、道路の高さを基準にしており、実際の周辺地域はもっと低い場所が多く存在する。例えば、木太町などには田畑が周辺に見られ、それらは道路よりさらに低いことが分かっている。この標高データをもとに、以下、浸水の経緯と流入・流出量解析を行っていきたい。

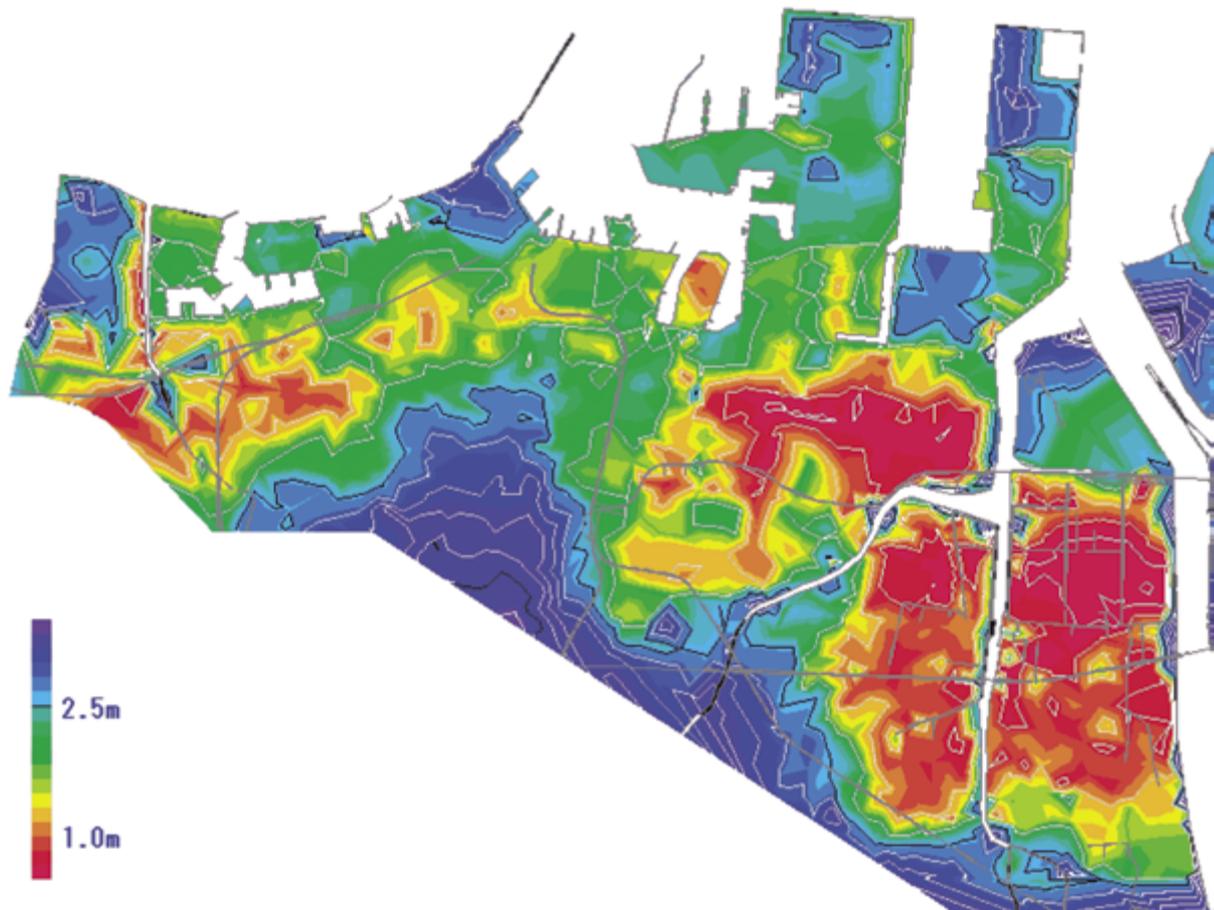


図4.3 高松市内の標高図

5. 高潮の流入経緯と流入・流出量の分析

5.1 高潮の流入経緯の分析

流入・排水の経緯の検討に際しては、高松工業高等専門学校及川康氏が実施したアンケート調査⁹⁾の原データを基に分析を行った。まず、自治体の行政区分に従った地区ごとに分類し、回答の個人差などを配慮するために3件程度の浸水開始回答を得た時点をも一つの基準と見なし、該当地区が浸水開始した時期を推測して特定した。これをもとに作成したデータを浸水時刻別に色分けし、地図上に重ねたものが図5.1浸水経緯図である。朝日町付近については一部データがなく、浸水範囲でも白色となっている。また、20:00以前から浸水しているとの回答については、20時の潮位0.95mが通常の満潮程度の高さであるため、浸水のデータとしては採用していない。台風の降雨により、雨水が滞留した可能性は考えられる。

海水流入パターンの基本として2通り考えられる。1つは、堤自体のオーバーフロー、もう1つは排水口の逆流である。いずれも海面側の高さが堤の導水部よりも高くなった場合において、理論上、水圧により堤内外の水面が同じ高さになるまでは浸水する。また、河川においては、特に海との間に仕切りはないため、同じ水面高に達するまで海水は河川に逆流する。そのために、河川においては、上流よりの流入を加味すると水位が海面潮位以上になる可能性は高く、危険性は高まるものと推測される。

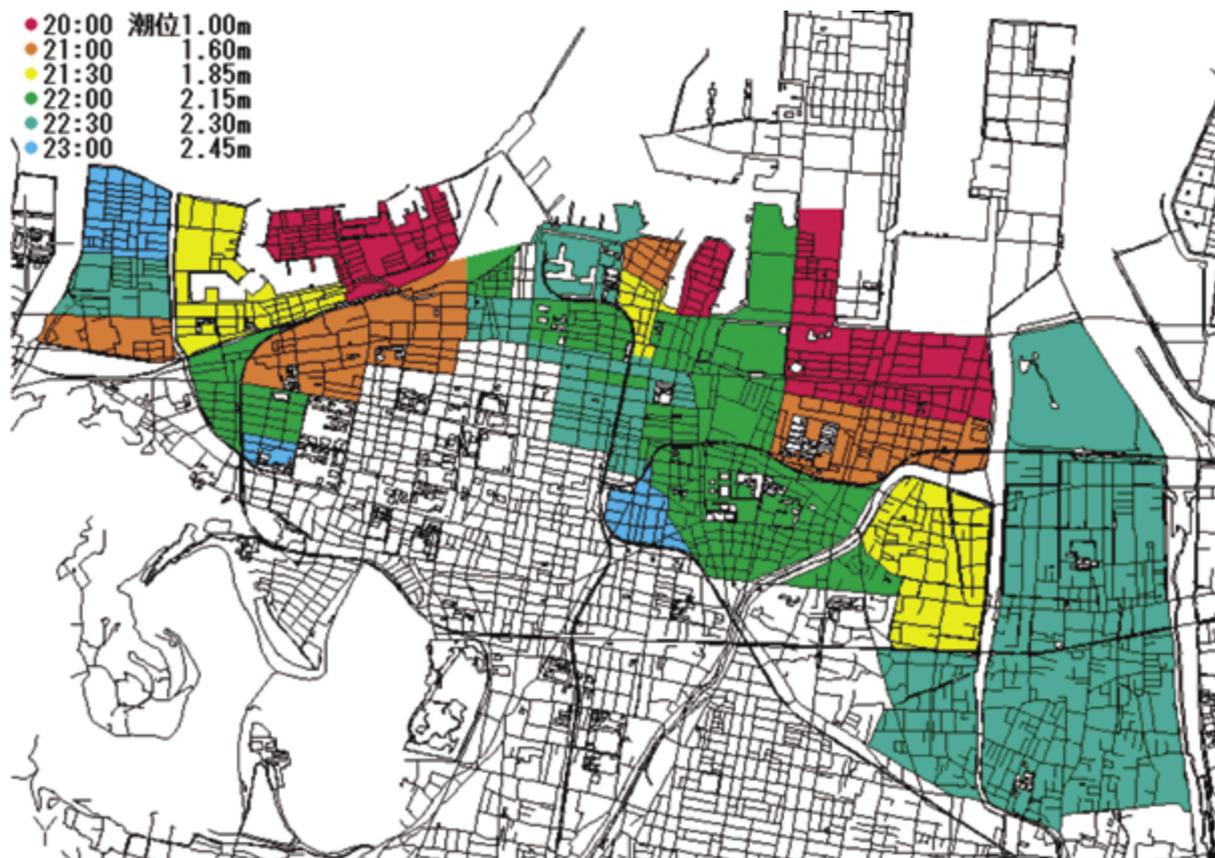


図5.1 浸水経緯図

5.1.1 20時から21時の浸水

まず、早期時点から浸水を開始した赤色に示す地区では、20:30の時点すなわち1.60mまでの潮位から地区の一部にて浸水開始していることが調査結果から確認される。護岸高さを見てみると、浜ノ町付近で2m、城東町付近で1.9m、朝日町付近でも1.7m以上の高さが認められる。住民の話では波浪はあまり高くなかったとのことであり、護岸以外の標高も同等にあるため、この潮位から浸水していたとの回答はやや不自然と思われ人為的誤差の可能性はある。福岡町付近においても、直接詰田川に面する地区の護岸は高く2mを超えており、降雨による増水、海水逆流を配慮しても、この時点から河川流量が護岸高さを超えることによる浸水は考え難い。赤色の浸水地区のうち、特に福岡町にのみ1m以下の地区も部分的に見られること、この地区の回答数は他よりやや多くデータとしては信頼できるため、ここには排水口の逆流により浸水し始めた可能性が十分考えられる。図5.2～図5.7は、アンケート結果9)の区域にそれぞれの時刻における潮位水面を表示し、CAD標高と併せて示したものである。実際には、それぞれの時刻にはこの潮位水面には達していない可能性がある。

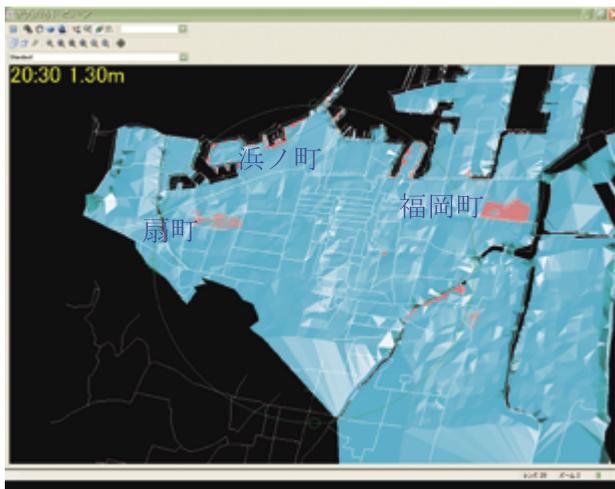


図5.2 8月30日20:30

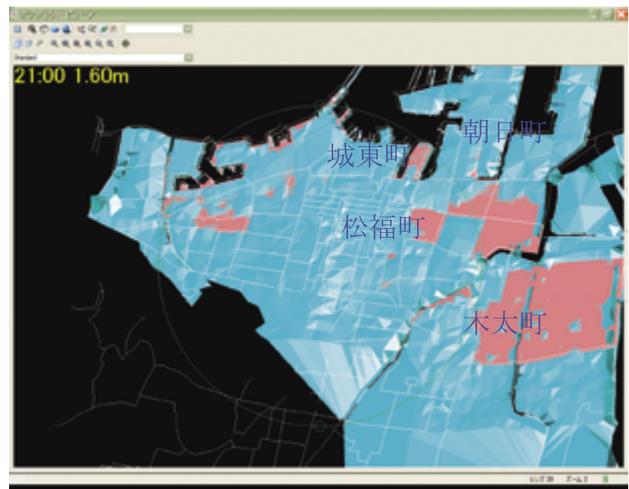


図5.3 8月30日21:00

5.1.2 21時から21時半の浸水分析

21:00から21:30頃、潮位1.60～1.85m程度での浸水範囲は図5.3、5.4のオレンジ色を加えた範囲となる。地図の東側より順に見ていくと、福岡・松福町においては窪んだ地形となっており、隣接地区からの流入もしくは排水用穴から水圧で逆流したことが浸水的主要原因と考えられる。なお、朝日町3丁目付近から福岡2・3・4丁目、松福町2丁目にかけては浜街道が最も高い標高となっており、1.9m程度である。波浪を加えた潮位を配慮すると、この高さを潮位が超えれば幅2車線の道路を通じて大量に流入することが容易と考えられる。北浜町付近については、護岸のない1.7～1.8m程度の地形であり、潮位がこれを越すことにより流入したことが考えられる。扇町から錦町にかけての地域は、窪地になっていることと河川に隣接していないこと、またJRの敷地はまわりよりやや高いこと、などから、浜ノ町付近から流入した海水がJR地下道を抜けこの地域に侵入したことが予想できる。西町については、香東川の護岸は非常に高くなっていることや、浸水している地域との隣接がないことなどから、瀬戸内町との間の川を逆流した海水が護岸を超えて浸水に至ったものと判断される。

5.1.3 21時半から22時半の浸水分析

21:30から22:00の浸水域については、TP+1.85～2.15mの潮位により浸水している。この地域はいずれも2m前後の護岸しかない地区であり、水域に隣接していることが原因と見られ、直接海岸線の護岸よりオーバーフローしたものと思われる。22:00～22:30の海面は2.15～2.30mであり、この時間帯に浸水したと回答があった地区はいずれも前途で浸水している地区の隣接であり、潮位が高くなることでこの地区からの流入があったことが考えられる。

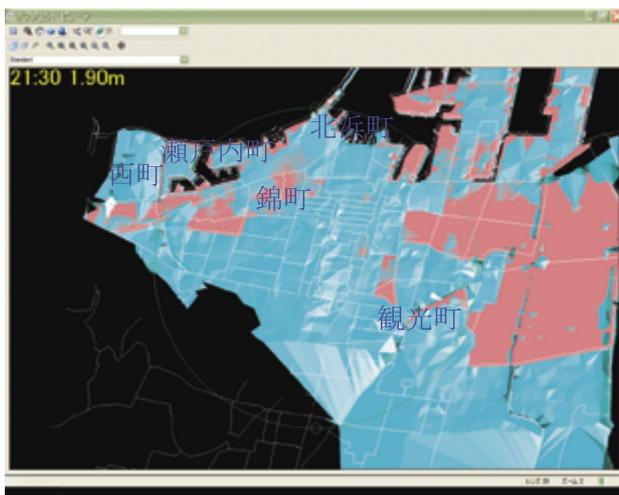


図5.4 8月30日21:30

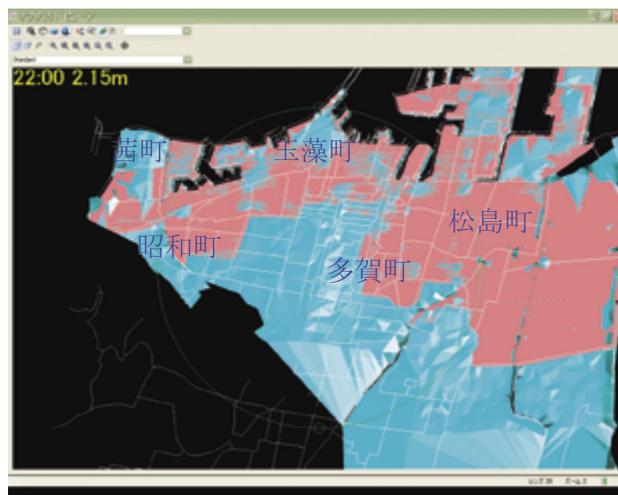


図5.5 8月30日22:00

5.1.4 22時半以降の浸水分析

22:30頃は水面が2.30mに達しており、それまで浸水の少なかった木太町でも大きく浸水地区が拡大していることが伺える。詰田川流域の護岸では、東西方向に橋の架かっている部分以外の護岸はかなり低く、さらに内側は窪んだ地区となっている。このため、海水逆入により、詰田川は水位が上昇することで護岸高さの2.2mを超えた部分から多くの水が流入してきたことが伺える。玉藻町付近に関しては、おおむね1.8m前後の護岸及び道路の高さであることから、もっと早期に浸水していたのではと考えられる。また、茜町については、瀬戸内町との間の河川から、護岸高さを超えた海水が流入したものと考えられる。22:42にTP+2.46mの最高潮位に達した後、ある時間において各地区の浸水高さは上昇し、浸水面積を広げ最大の浸水範囲を迎えたものと見られる。

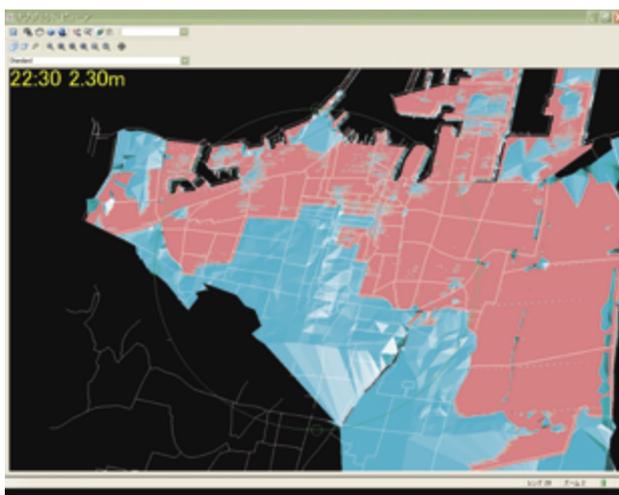


図5.6 8月30日22:30

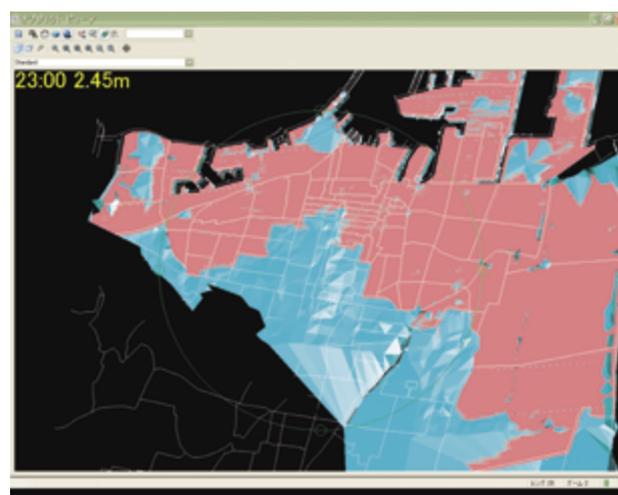


図5.7 8月30日23:00

5.1.5 福岡地区の浸水状況の分析

(1) 福岡地区の三次元地形

特に今回大きな被害の見られた福岡地区では、浜街道が護岸よりも高く、それよりも南側の福岡地区は全般的に低い傾向が目立った。GPSによるライン測量を重点的に行い、この地区の地形の詳細な検討を行った。図5.9は福岡町付近を拡大した地図である。特に標高の低い部分を、東西にNo.1、No.2と、南北にNo.3、No.4とそれぞれ2ライン、縦断面図で示したのが図10～13である。

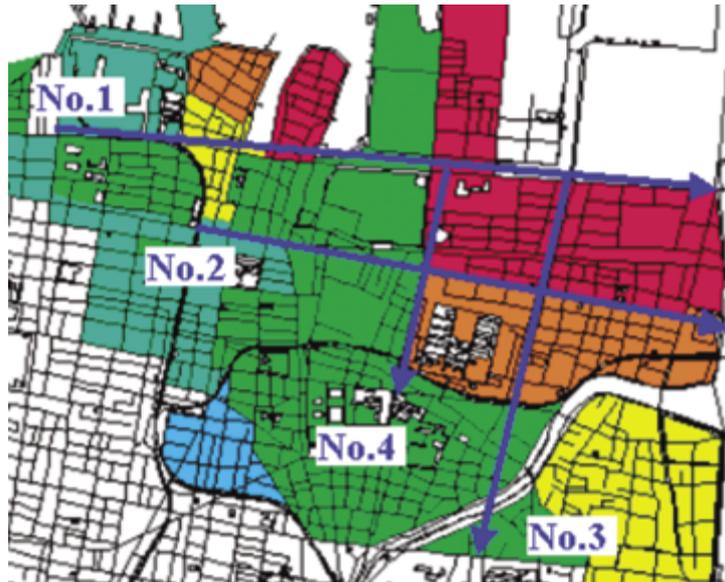


図5.9 福岡町浸水経緯図拡大



図5.10 No.1縦断面図



図5.11 No.2縦断面図

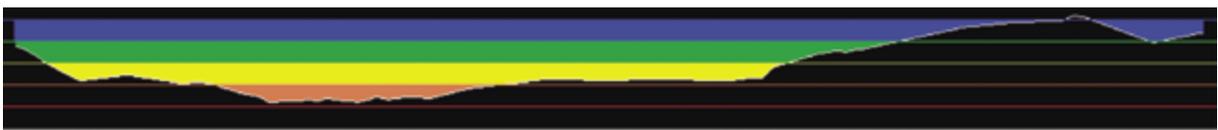


図5.12 No.3縦断面図



図5.13 No.4縦断面図



(2) 福岡地区の浸水状況の分析

図5.10と図5.11を比較すると、浜街道付近のNo.1はおおむね標高1.5m以上が確保されている。しかしNo.2においては、1mに満たない地区も多く存在することが分かる。同地区を南北方向に切った図5.12、図5.13でも同様であり、福岡周辺のみが窪んでいることが確認できる。このことから、海水が滞留し、排水が困難になったことが考えられる。市内北部を東西に横断している浜街道の標高が最も高くなっている地形をいかし、防潮堤や導流堤を設置することや、道路構造の変更等により浸水対策を講ずるなどの検討を行う必要があるものとする。

5.2 高潮の流出経緯の分析

5.2.1 高潮の流出経緯

排水の形態には2種類が考えられる。自然排水とポンプ排水のいずれかによる。地盤は海側もしくは陸側のいずれかに勾配しており、海や河川、道路などへ排出されていく。特に障害物や起伏の少ない車道は多くの流量を担うこととなる。しかし、標高の低い窪地においてはそれらの排水が集まり、自然排水は行なわれ難い。高松市では木太町、福岡町、扇町の付近にてこうした窪地が存在することがGPS調査(図4.3)により明らかとなっている。これらの地区には合流式の下水道や、それに繋がった排水ポンプが設置されている。自然排水不可能なものについては、これらから排水されるものと考えられる。

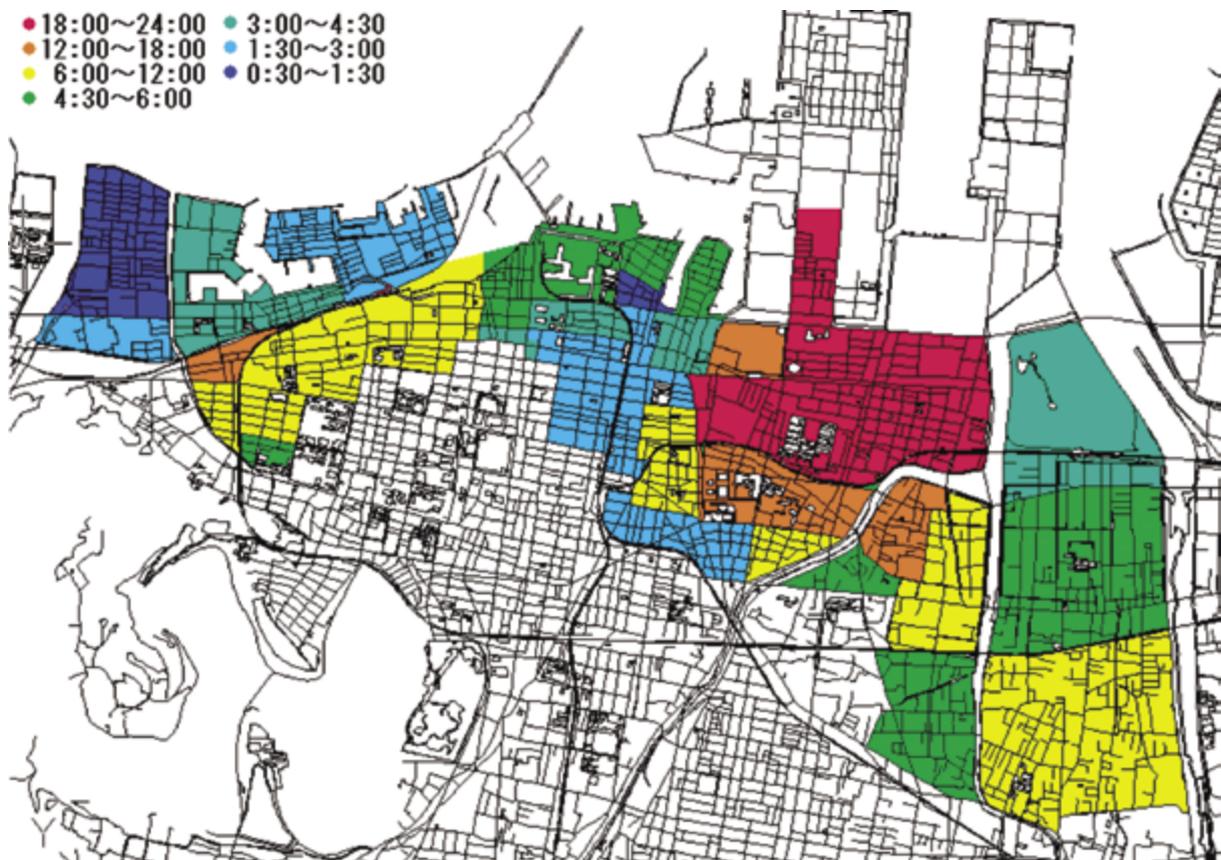


図5.14 排水経緯図

5.2.2 時間変化から見た流出経緯の分析

排水の際は、護岸の高さと潮位が関係することとなる。護岸が高い箇所では、護岸以下の滞留は自然排出が行えず、また潮位が高ければそれ以下の高さの水が流出することはない。図5.14において、まず時間帯0:30～1:30頃までにほぼ排水が終わっていたことが確認された地区は図の青色にて示される範囲である。1:30の時点では潮位は1.9mあることが観測値から分かっている。この地区の特徴として、2m前後の護岸が整備されておりかつ隣接地区に比べ標高が高いこと、大きな窪地の存在または窪地への浸水がなかったため地区面積の割に浸水量が少なく、排水されやすかったことが挙げられる。次に、3:00までに排水の終わった地区については、図5.15より2:00の時点の潮位は1.65mであり、概ねそれまでに自然排水可能な箇所については流出し図の範囲には残っていたものと考えられる。残りはポンプでの排水に頼ることとなる。

次に、流出経緯については、以下の通り4地区に分けて検討を行うこととした。東側より順に木太町東地区＝春日川から詰田川にかけてのエリア、木太町西地区＝詰田川から御坊川にかけてのエリア、福岡町地区＝福岡町付近より中央通以東のエリア、扇町地区＝中央通以西香東川までのエリアとした。

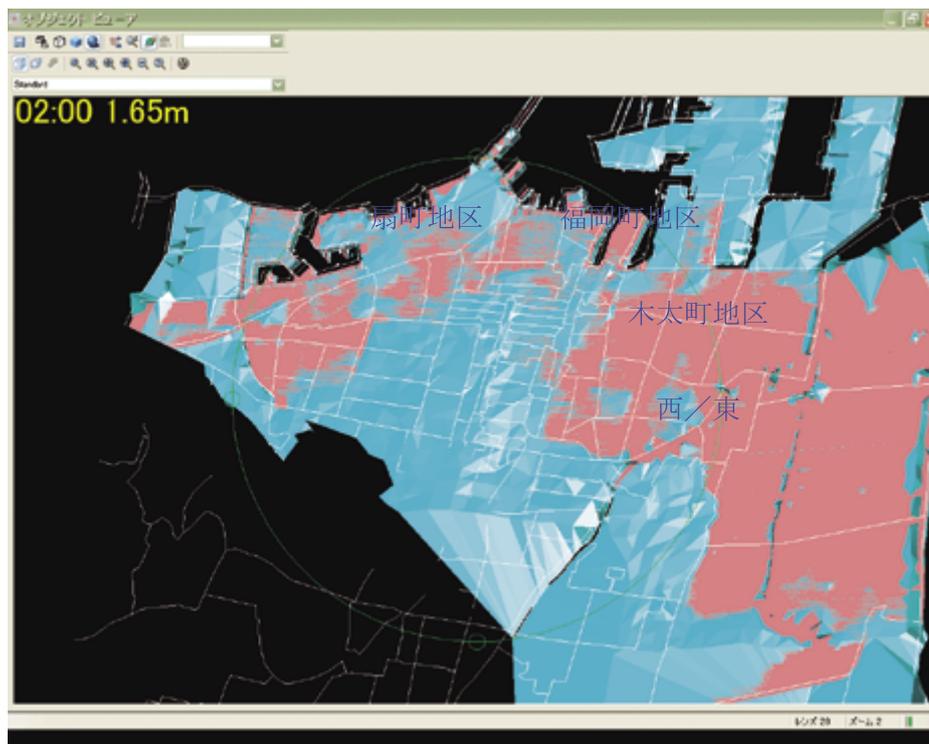


図5.15 8月31日02:00 (TP+1.65m)

(1) 木太町東地区の流出経緯

木太町東地区においては、アンケート結果から最大浸水深は0.9mである。この周辺の標高はおおむね0.6m程度であるため、護岸高さによる浸水開始時刻が遅くなったことが幸いし、水位上昇はTP値で1.5m程度に抑えられたことが考えられる。このため水量も他地区などに比べ多くはなく、図5.14の通り早期排水に繋がったものと考えられる。また同時に、田畑や水路が多いため、雨水排水を行うためのポンプ整備がなされており、このことにより浸水時間は比較的少なかったといえる。

(2) 木太町西地区の流出経緯

木太町西地区においてはやや時間を要した。アンケート結果からは、最大浸水深は1.4mと大変高い値を示している。市街地標高は低い所で0.8m程度で、早期からの浸水のためにおおむね潮位同等までの浸水が見られたと考えられる。そのためにやや排水時間を要したと考えられる。

(3) 福岡町地区の流出経緯

福岡町地区においてはポンプ場が正常動作しておらず、ポンプ車により排水したとの話があった。最大浸水深は1.5m、市街地標高は最も低いところで0.6mであり、早期からの浸水のためにおおむね潮位同等までの浸水となったことが考えられる。また、ポンプ場の作動停止の事故も重なり、このために時間が掛かる傾向が見られた。

(4) 扇町地区の流出分析

扇町地区においては、最大浸水深1.5m、最も低い市街地標高1.0mと、早期浸水のために潮位同等になったことが伺える。しかしながら、浜ノ町・瀬戸内町・新北・茜町などの臨海地区では、護岸と地盤高さが同等の窪地のない地区も多く含まれており、排水完了時間から見ても、ほとんどは下水經由の排水には頼らずに、自然流下したのではないかと考えられる。

5.3 高潮の流入・流出量の分析

5.3.1 浸水量の算定

図4.3で作成した標高データを基に、0.6～2.6mまで標高0.2m毎に浸水流量を計算したのが表5.1である。なお、水量の計算の際には、建物や構造物などによる建ぺい率を30%と考え、その量を除外して求めている。

表5.1 浸水高 (TP・m) と浸水量 (m³)

標高	木太町 1	木太町 2	福岡町	扇町
2.6	1,736,978	1,047,094	1,580,628	1,337,515
2.4	1,453,371	855,790	1,276,709	979,634
2.2	1,188,321	677,187	978,059	644,811
2	958,867	514,484	733,020	361,522
1.8	729,412	369,297	487,982	193,365
1.6	541,361	239,694	326,584	92,083
1.4	374,237	129,743	210,304	
1.2	230,352	48,068	122,899	
1	129,787	11,023	57,403	
0.8	71,843	1,012	17,530	
0.6	34,411	168	2,447	

5.3.2 高潮の流入・流出量の算定

流入、流出量の計算に際しては、表5.1のデータと、図1.1に示す潮位のデータ、アンケート項の最大浸水深に関する情報を考慮して算定した。すなわち、アンケートから得られたある地域の浸水深さと地盤高さからその地域の浸水面の標高を推測し、その水面の標高に対する水量を計算により求めたものである。従って、浸水した経緯や時間的経過により、水面と潮位との関係が地域によって差異を持ったものとなっている。

各地区の浸水量の時間的な変化をとらえたものが図5.16である。護岸、堤防等を越えてから急激な浸水開始が見られ、22時42分の最大潮位を迎えた後、翌0時頃まで潮位が2.4mを超えていたことより、この時刻付近で最大浸水量に達し総量350万 m^3 に達した。その後、自然に排水され、堤防高さ程度までは急激な排水があったことが考えられる。そして、その後はポンプ排水等により、一定勾配で排水されたものと考えられる。ただし、排水経路は複雑なものであり、今後詳細な検討が必要とされる。

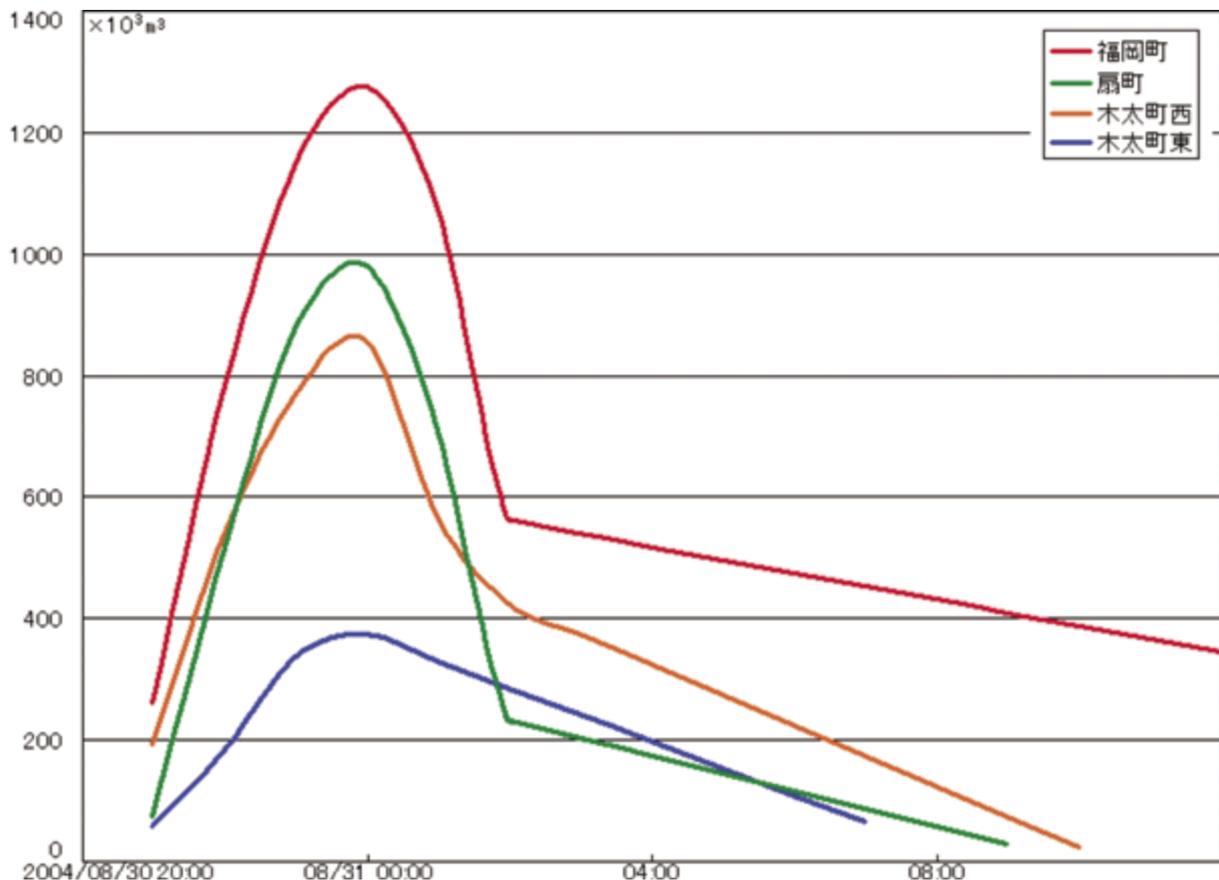


図5.16 各地区における浸水変化

5.3.3 流出経緯とポンプによる排水

ポンプによる排水の検討に際しては、高松市管理のポンプ場能力データを利用した。なお、ポンプ場配置は図5.17に示すとおりである。下水関係で28箇所、河口課の水路用で3箇所あるが、今回の対象範囲や排水能力からみて、およそ15箇所のポンプ場が実際に機能したと見られる。排水能力は300～500 m^3/h 程度が多い。ポンプ場や下水道管は、比較的標高の低い地区に重点的に配置されている。

図5.16で計算された浸水量をポンプで排水したとして、排水時間から逆算してポンプの稼働率を求

めてみた。その結果、木太町東西や扇町などの地区では65～70%、福岡町地区では42%前後の値となった。なお、計算に用いた排水完了の時刻はアンケート結果に基づいたものであるために、やや誤差を含み、また1時間の違いで数%変化するため、正確に知るには詳細な検討が必要である。このポンプ稼働率が低い原因としては、排水吸入口のつまりやポンプ自体の老朽化が考えられる。福岡地区においては、福岡ポンプ場の故障が指摘されていた。今後は、機器の整備、メンテナンスはもとより、排水吸入口を含めた周辺の清掃など日常の管理を行っておくことが必要と思われる。



図5.17 高松市内北部のポンプ配置図

6. 今後の対策と提言

高松市沿岸の護岸高さの調査により、台風などで最初に浸水が起こる場所は、四国フェリー乗り場周辺である。この場所は、約TP+1.8mの高さで占められており、最も浸水が起こりやすい場所である。高潮の被害から見て注意を要する場所は、朝日町の護岸である。この場所から南に行くほど地盤が低くなっていることから、ここからの浸水があった場合は危険度も増すことが予想される。本調査で、高松市は港の形状がU型やV型が多いために、護岸の高さはTP+2mを下回るものがかなりの割合であることが判り、大きな高潮が来た場合かなり危険であることが判った。護岸の高さを高くすることが一番良い方法であるが、港などは、機能面、利用面などの問題があるため、非常時に対応できる構造を検討するなど、対応を行なうよう提言したい。また、人が通るために、護岸の一部が急に凹んでいるような不連続性のある護岸に関する調査においては、こうした護岸は高松漁港付近で多く見られた。一方、浜ノ町での不連続性のある護岸は、護岸との差は約90cmであり、護岸高さでも凹んでいる部分は約TP+2.1m、普通の部分は約TP+3.0mとなっており、かなりの高低差がある。大きな高潮がくる場合は、早急に凹みのある部分を塞ぐ必要がある。

高潮の、高松市内への流入経緯を見ると、当然ではあるが低い地域から浸水している状況がわかる。その最も多くは護岸や河川堤防などからの浸水であり、それをいかに防ぐかが対策の要点と言える。すなわち、標高の低い地域への浸水を防ぐには、そこに流入してくる護岸・堤防などへの対策が

急務であり、今回あえて危険度の順位をつけたのは、対策の緊急性を提言したかったからに他ならない。

今回の高潮において、TP+2.69mを記録していた広島市では、高松市に比べ被害がかなり少なかったと報告されている。他県の状況も参考にし、より効果的な対策を講ずるべきである。

津波に関していえば、今回の高潮よりはるかに大きな動的な力が作用し、さらに広範囲に被害が拡大する可能性がある。それらを考慮した予測と対策が必要である。それには今回の調査の精度を上げ、例えば建物や構造物等を考慮した流入・流出経緯を改めて検討することが必要であると思われる。特に排水経路の確保のための対策やポンプ施設の見直しも必要である。

ハード面の対策とあわせ、災害情報、非難情報などを適切に配信し、市民の安全な誘導を行うなどのソフト面の対策もそれ以上に大切であると考ええる。

まとめると下記のようなになる。

1. 浸水経緯からみた危険護岸、堤防の優先の見直し
2. 防潮堤、導流堤機能構築による高潮・津波浸水対策の検討
3. 建物等を考慮した流入・流出経緯の詳細調査
4. 排水経路の調査と確保のための対策
5. ポンプ場施設の見直しと日常点検
6. 災害情報、非難情報の適切な配信と安全な誘導

参考文献

- 1) 香川県、台風16号の高潮浸水地域（9月5日15時把握分）、2004.
- 2) 国土交通省四国地方整備局港湾空港部、平成16年度台風16号による高潮災害の概要、2004
- 3) 国土交通省四国地方整備局港湾空港部、高松港における台風16号等による高潮検討、pp. 2、2004
- 4) 国土交通省四国地方整備局港湾空港部海洋環境・海岸課、台風0416号における高松港高潮災害状況の分析、p 3-14、p 3-19、2004.
- 5) 合田良實、わかり易い土木講座海岸・港湾、pp. 116-119、彰国社、2003.
- 6) 日本GPSソリューションズ株式会社、VRSに関する資料、pp. 20、24、27、28、31、32、40、44、2004.
- 7) 山本直樹、水産資源増殖構造物による漁場造成地選定システムに関する研究、pp. 10-23、香川大学大学院工学研究科安全システム建設工学専攻修士論文、2003
- 8) 高松地方气象台、平成16年台風第16号と高潮について、香川県高潮等対策検討協議会資料、2004
- 9) 及川康、台風16号接近にともなう高松市内の高潮災害に関する実態調査の集計速報、平成16年度香川県地盤工学研究会第2回セミナーテキスト、61頁、2004
- 10) 末永慶寛、神崎正、長谷川修一、山中稔：数値モデルによる台風発生時の流動場変化と高潮の発生要因に関する調査研究、土木学会四国支部、平成16年台風災害報告会自然災害フォーラム論文集、97-104頁、2005

参考ホームページ

- a) 気象庁、気象データ検索電子観覧室、<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/>

- b) 気象庁、台風情報、http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jp/typh/typh.all.html
- c) 香川県庁、災害被害情報、<http://www.pref.kagawa.jp/bosai/menu/higaikagawa.html>
- d) 気象庁、過去の台風資料、http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jma/index.html
- e) 宇宙航空研究開発機構、TRMM台風データベース、<http://www.eorc.jaxa.jp/TRMM/typhoon/>
- f) 高松地方気象台、平成16年台風第16号と高潮について、香川県高潮等対策検討協議会資料、2004
- g) 高松市ホームページ、台風16号による災害情報、<http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/>
- h) 国土地理院ホームページ、緯度経度と地心直交座標の相互計算、<http://www.gsi.go.jp/>
- i) 日本GSPソリューションズ株式会社、GPS業務支援サービス、<http://www.ngsc.co.jp/>
- j) 気象庁、気象データ検索電子観覧室、<http://www.data.kishou.go.jp/etrn/>
- k) 気象庁、台風情報、http://www.jma.go.jp/JMA_HP/jp/typh/typh.all.html
- l) 香川県庁、災害被害情報、<http://www.pref.kagawa.jp/bosai/menu/higaikagawa.html>

3. 浸水状況と建築物の被害

建築班：岡野 眞（工学部安全システム建設工学科）
 寺林 優（工学部安全システム建設工学科）
 仲谷 英夫（工学部安全システム建設工学科）
 平野 祐一（平野地域計画）

1. 台風災害と建築物

1.1 平成16年台風による建築物の被害

消防庁調査によれば、平成16年台風による住家被害は例年を遥かに越える甚大なものとなった（表1）。特に香川県では、河川越水氾濫、高潮による浸水、土石流、車道崩壊などにより、台風災害としては大規模なものであった。実際、住家被害以外にも一般被害で見れば、人的被害（死者数：香川県18名、四国計54名）、非住家被害（納屋、養鶏場等）、公共施設被害（集会施設、医療施設、教育施設等）、文化財等被害も甚大であった。

表1のデータから明らかに、建築物の観点で見れば台風災害とは浸水被害が特徴的かつ大規模である。恐らく浸水被害の損害額も莫大な規模になるであろう。香川県における過去最大の高潮被害は、1961年の第二室戸台風がもたらした床上・床下浸水の合計7,532棟であるから、今回が如何に規模の大きい被害であったか知ることができよう。

	台風10号			台風15号			台風16号		
	香川県	四国計	全国計	香川県	四国計	全国計	香川県	四国計	全国計
全壊	0	12	12	0	17	17	1	8	29
半壊	0	15	15	4	22	23	8	23	95
一部損壊	2	32	65	3	41	215	224	639	7,037
床上浸水	0	147	216	13	661	695	8,393	8,842	16,799
床下浸水	89	695	2,418	689	1,801	2,339	13,424	15,108	29,767

	台風18号			台風21号			台風23号		
	香川県	四国計	全国計	香川県	四国計	全国計	香川県	四国計	全国計
全壊	1	3	109	0	28	66	68	83	202
半壊	1	20	848	1	30	67	80	120	672
一部損壊	18	642	42,183	11	284	1,893	154	241	9,709
床上浸水	48	110	1,598	59	1,819	5,703	4,713	5,592	20,697
床下浸水	624	766	6,762	263	4,185	13,304	12,552	14,963	38,332

表1 消防庁調査による平成16年の台風による住家被害状況（単位：棟）

1.2 浸水と建築物

建築物は人々の生活を支えるために建設・維持されるものだから、人間の生命を守ることが第一義である。万一、自然災害に遭遇する場合にも、少なくとも人間の生存を保証するだけの安全性を最低限確保すべきである。

思うに自然災害の中でも、「地震、雷、火事、…」と言われるように、浸水・洪水の恐ろしさは広く人口に膾炙しているとは限らない。しかし平成16年の台風被害やスマトラ島沖大地震によるインド洋大津波被害は、改めてその恐ろしさを多くの人に知らしめるに至った。

一般に、わが国で建築する上で基本となる建築基準法（単体規定）によれば、建築物の安全性とは概ね次の5項目について具体的に定義しているに過ぎない。しかも本来の用法に従って、その建築物を使用している間に、関係者の生命、健康および財産に損害を与えないことが目的であり、「全く予期しえない」過荷重・天災・事故などによる建築物の崩壊や破損は、安全性を欠いていたこととはされないことになっている。

(1) 構造耐力上の安全性

建築物が、自重・積載荷重・積雪・風圧・土圧・水圧または地震その他の振動・衝撃により、崩壊・破壊・重大な変形を起こさないこと。

(2) 防火性・耐火性

建築物が、火災時に崩壊・破壊・重大な変形を起こさないこと。

(3) 耐久性・対候性

建築物が、腐朽・浸食・その他の変性により、崩壊・破壊・重大な変形を起こさないこと。

(4) 使用上の安全性・避難上の安全性

建築物の使用に当たり、平常時または地震・火災その他の非常時を問わず、関係者の生命・健康に損害を与えないこと。

(5) 良好な環境衛生条件の確保

健康に悪影響を与える衛生その他の環境条件から保護し、または良好な人工的屋内環境を有すること。

建築基準法では以上の内容について、具体的な項目で「建築物の構造強度」、「建築物の防火避難施設」、「建築物の環境衛生などとそのための構造・設備」などの基準を規定しているが、浸水に対する具体的な規定はない。

ところで浸水、特に高潮による海水による浸水が建築物に及ぼす悪影響は、多々考えられる。例えば海水や潮風の塩分によってコンクリートの劣化や鉄筋の腐食が加速するだろうし、空気中の二酸化炭素がコンクリート中に侵入する中性化との複合劣化も懸念される。さらに鉄骨やアンカーボルトの錆による劣化、電気配線の絶縁劣化、漏電火災、動力装置・設備配管の腐食など、短期的・長期的に建築物に与える被害は小さくない。この分野の実証的研究が緊急に望まれるところだ。

一方、建築基準法における集団規定（健全な街づくりのための基準）でも、火事または地震発生時の防災機能の整備が扱われているだけである。なお浸水・洪水についての規定は、国土交通省建築指導課にヒヤリングしたところ、現段階では建築基準法の改正予定項目には入っていないとのことである。

すなわち建築物の安全性について、上記の規定に含まれない浸水・洪水については建築主の自主的な判断と自助努力に任されていると判断せざるを得ないのである。

しかし現実には、安全性の対策と経済性のバランスを取らなくてはならない。具体的に、建築物建

設に要する費用は、①建物建設費（建築本体工事費＋付帯設備工事費）と、②外構工事費からなるが、往々にして後者は削減の対象になりがちである。ここに外構とは、敷地の整地、門・塀、石垣、生垣、植栽・造園その他の建築物周辺の整備を言う。

1.3 建築物の対応策

前節で述べたように建築単体としての対応策は、建築主と設計者の適切な判断に任されているのが実態である。確かに防潮板やシャッターなど建築に付帯する装置も有効であるが、そのことは本報告書「4. 公共建築物の高潮被害と対策」で扱うので、ここでは装置でなく、建築物と敷地のあり方に焦点を当てて考察してみたい。

そもそも建築基準法19条2項によれば、建築物の敷地は建築物が衛生上良好な状態を保持し、かつ建築物の安全性が確保されるように造成されていなければならない。とくに埋立地、低地その他湿潤な土地、軟弱な土地あるいは出水のおそれのある土地などは、盛り土（かさ上げ）、地盤改良などの衛生条件の改善および構造耐力上の安全性の確保のための措置を講ずる必要がある。

さらに、建築基準法19条1項によれば、敷地は原則として、その接する道の境界より高くし、また建築物を建築する地盤面は周囲の敷地より高くしなければならない。

以上が建築基準法の規定であるが、具体的な個別判断は建築主と設計者に委ねられているのが実態である。然るに2章、3章の調査で明らかにされるように、敷地の地盤高、敷地周辺の微地形、建築物周辺の外構が、浸水の状況と大きく関係していることが判明した。このことは設計者の敷地・微地形・外構に対する判断が、極めて重要であることを意味している。それゆえ浸水被害の恐れのある地区においては、建築確認申請段階で建築物の設計指導・確認することを提言する。

一方、建築基準法39条によれば、津波、高潮あるいは洪水などの災害は、多くの建築物を流失させたり、損害を与えたりするが、これらの危険があらかじめ予想される区域に対しては、地方公共団体が条例で災害危険区域を定め、その区域内での建築物を制限し、また住宅の建築を禁止することができる。

現在までに定められた災害危険区域は、北海道厚岸郡浜中町（1箇所、136ha、津波高潮の危険防止）、北海道札幌市（2箇所、557ha、出水の危険防止）、名古屋市（1箇所、6,492ha、津波高潮出水の危険防止）、広島県（1,681箇所、1,198ha、急傾斜地の危険防止）などである。

因みに、名古屋市臨海部防災区域建築条例（平成15年12月現在）は、高潮による出水対策として制定されているもので、名古屋市臨海部の区域を4種類に区分し、区域ごとに建築物の1階の床の高さと構造等を規定している。例えば、1階の床の高さについて見ると、名古屋港規準面（NP＝0）に対し、4m（第1種区域）、1m（第2～4種区域）と規定している。

現時点では香川県、高松市において災害危険区域が特に定められていないので、緊急に検討すべきことを提言する。

しかし災害危険区域に想定される地区は、現実に木造家屋が密集し、住民の高齢化が進むなどの傾向がみられる。自然災害が起きる度に「災害弱者」を生む地区でもあり、建築単体としての対策が難しく、地域ぐるみの解決が望まれる地区でもある。

従って、市街地再開発事業、土地区画整理事業、地区計画などの「まちづくり事業」と連携させる有効な手法も併せて検討する必要がある。

2. 台風16号による高松市街地西半における高潮浸水

2.1 浸水状況調査

平成16年8月30日23時の高松港の潮位は観測史上最高のT.P.（東京湾平均海面）+2.46mを記録した。高潮偏差は133cmに達しており、気圧の低い台風による海面の吸い上げ、1年で最も潮位が高くなる夏の大潮、さらに台風による吹き寄せの影響が重なったためと考えられている。

平成16年8月30日夜の浸水開始時から9月4日にかけて、香東川と中央通りの間の高松市街地西半の東西約3km×南北約2kmの範囲で、浸水域、浸水深、浸水の流入経路の調査を行った。浸水深は住家の戸やコンクリート外壁や基礎、自動販売機等に残っている浸水跡の路面からの高さを測定した。浸水深が10cm未満で痕跡が確認できない区域では聞き取り調査を行った。自動販売機は市街地から臨海部の倉庫・工業地域に広く設置され、浸水の跡が残りやすいことから浸水深の測定に適しているが、1,000台以上の自動販売機が浸水で故障し、交換のために浸水直後から次々と搬出されていった。従って浸水直後に迅速な調査を行うことが求められる。



図1 コンクリート外壁の浸水跡
（扇町一丁目、浸水深60cm）



図2 自動販売機の浸水跡
（扇町三丁目、浸水深55cm）



図3 高松駅の浸水跡
（浜ノ町、浸水深5cm）

図4は高松市が発表した平成16年9月5日15時把握分の高潮による浸水地域である。詳細な浸水状況の調査を行った地域を四角で、第3章第1節の「台風16号による高松市市営住宅の被害」で扱った朝日町団地と香西本町団地の位置を白丸で示してある。

高松市街地東半には御坊川、詰田川、春日川、新川が流れ、春日川の西側では浸水域が広く、特に詰田川流域では海水の逆流によって浸水域は河口から3kmほど上流部にまで及んでいる。一方、高松市街地西半の調査地域では香東川の他に大きな河川はないが、高松漁港の南側に浸水域が広がっている。

図5に調査地域内で浸水深を測定した728カ所と浸水深を示す。また調査地域内で浸水跡を認めることができなかった区域を斜線で示してある。図4の高松市発表の浸水域と比較すると、高松市発表の浸水域内に東西約400m、南北約200mの非浸水域が存在する。そこでは、班員の一人である仲谷による観察では8月30日夜の浸水時点でも道路への冠水はほとんど見られなかった。

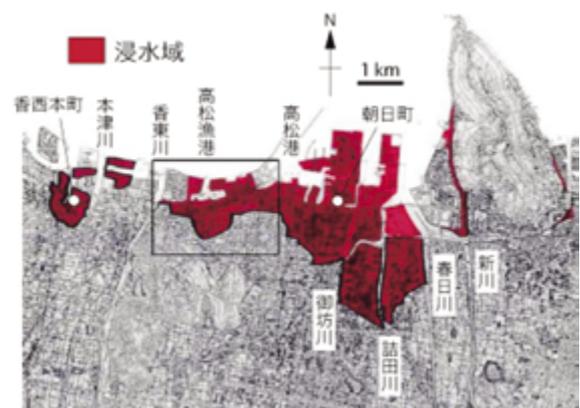


図4 高松市発表の高潮による浸水域
（高松市ホームページを改変）

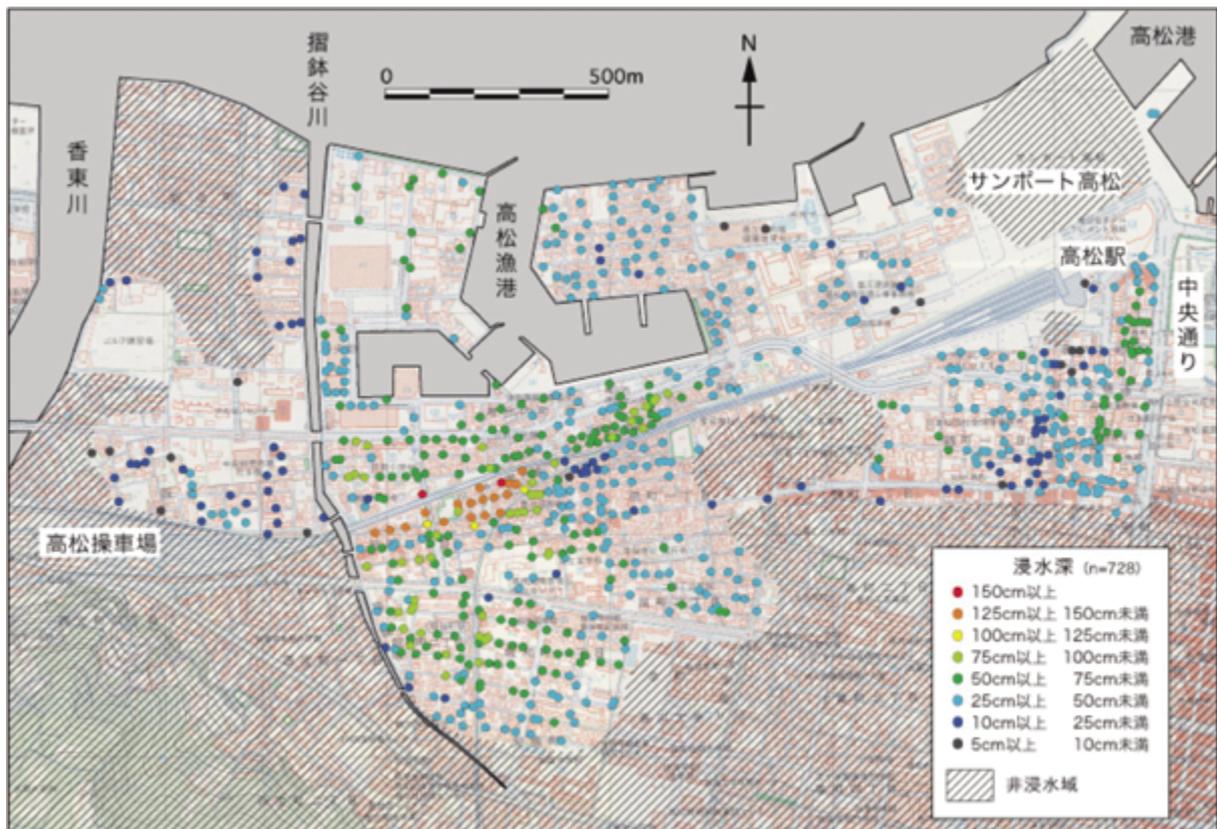


図5 高松市街地西半の浸水深分布図（国土地理院1万分の1地形図「高松」使用）

2.2 地盤高と微地形

高松市発行の都市計画図（1/2,500）には、調査地域内で約350カ所の地盤高が示されている。ハンドレベルとスタッフを用いた水準測量を行い、新たに約900カ所の地盤高を測量し、計約1,250カ所の地盤高データを得た。図6には図5で示した浸水深の分布に加え0.5mごとの等高線を引いてある。臨海部の埋立地のほとんどでは標高2.0m以上であるのに対して、高松漁港や高松駅の南側には、標高2.0mに達しない地域が広く分布する。局所的に標高1.0m以下の地域もみられ、このような微地形と浸水深との関係に注目する必要がある。

微地形とは山の斜面や平野内にみられる小規模な地形であり、一般に比高が1～2m以下の地形で、1/5,000よりも大縮尺の地形図で表現される。平野を開発する場合、旧河道・ポイントバー（蛇行州）・自然堤防などの微地形の解析は、平野の形成過程や洪水時の氾濫範囲などを解明するうえで重要である。

高松漁港の南側では1km近く内陸側の標高2.0m以下の地域まで浸水しているが、その東に張り出している浸水域は標高1.5mほどに限られる。高松駅の南側では、中央通りのすぐ西側の標高2.0m以下の区域では浸水深50cm以上であるが、その西の標高1.5m以下の地域での浸水深は浅くなっている。両地域間の浸水を免れた地域は標高2.0m以上の等高線がJR予讃線、さらに臨海部までせり出している。

また、JR予讃線の南側、摺鉢谷川の西側の地域（西宝町一丁目）の大部分は標高1.5m以下で標高1.0m以下の地域も存在するが、今回の高潮による浸水を免れている。これは、JR高松操車場、摺鉢谷川の堰堤、南西部の山地の三つの高まりが「輪中堤防」の役割を果たしたためであると考えられる。



図6 高松市街地西半の浸水深分布と地盤高（等高線の単位：m）の関係

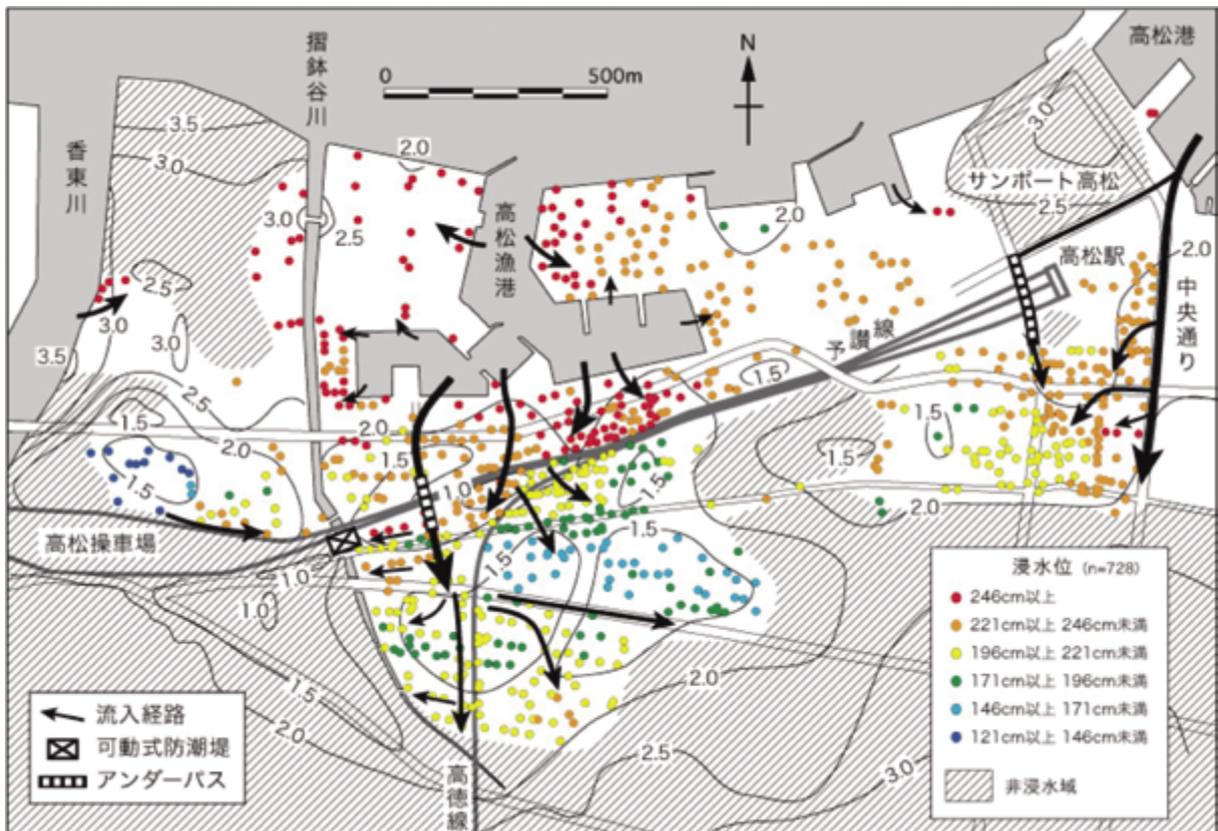


図7 高松市街地西半の浸水位分布と地盤高（等高線の単位：m）の関係と浸水の流入経路

浸水位とは東京湾平均海面を基準とした浸水面の高さであり、地盤高に浸水深を加えることで算出する。図7にみられるように浸水位は臨海部や高松漁港周辺では最高潮位のT.P. +2.46mよりも高くなっているが、内陸部では必ずしも一定ではない。特に内陸部の低地の中央部では浸水位はより低くなっている。

調査地域西部の高松漁港の西側には摺鉢谷川が流れている。この川は江戸時代に流れを変えられた香東川がかつて高松市街地を流れていた名残である。JR予讃線のすぐ上流には可動式防潮堤が設置されており、実地観察および聞き取り調査によっても高潮が可動式防潮堤の上流の摺鉢谷川を逆流して周囲に流れ込んだ事実は認められない。

内陸部への浸水の流入経路は、高松漁港の南側では、JR予讃線のアンダーパス（乗用車が水没し1名が死亡）から南に流入し、さらに東西に広がった。それに加えて、高松漁港周辺での高潮浸水がJR予讃線を越え、浸水深が125cm以上の地域を満たした後にJR高徳線を越えてさらに南側に流入した。調査地域の東部では、南北に走る主要幹線道路（中央通り）沿いに南に流入し東西に広がった。さらに再開発された高松駅北側のサンポート地区の周回道路から高松駅のすぐ西のアンダーパスに流れ込み、JR線の南側に流れ込んでいる。

このように東西に走る線路によって寸断されがちな臨海部と市街地中心部の交通の利便性向上のためのアンダーパスが、高松市街地東半に比べて河川の少ない本調査地域においても、高潮浸水が臨海部から内陸部へ流入する経路となったと考えられる。

2.3 浸水ではなく“侵”水

浸水深と浸水位の関係をみると、地盤が低いからといって、浸水深が大きいとは限らない。逆に、地盤が高いからといって浸水の恐れがないとも言えない。これは高潮浸水が川の流れのように勢いをもって流入したためであると考えられる（図8）。まさにスマトラ島沖大地震によるインド洋大津波の浸水状況に類似している。水の流れは浅くても速度があると、人や物を巻き込む恐れがある。実際にJR予讃線のアンダーパス沿いの商店では、内陸部へ勢いよく流れ込む水の流れによって店舗のシャッターが破損したという証言を得ている。

イギリス北部を低気圧が通過すると北海の潮位が上がり、英仏海峡に向かって狭くなっているのも更に潮位が上がり、それがテムズ川の水位を押し上げ、ロンドンに過去に何度も洪水に見舞われた。現在は、テムズバリアという水門で防いでいる。今回の高潮浸水では摺鉢谷川の可動式防潮堤は有効に機能し、上流への逆流と周囲への流入を防いだ。河川だけでなく、高潮や津波が侵入してくるルート（特にアンダーパス）に水の勢いを止める装置を設置することが有効であると考えられる。

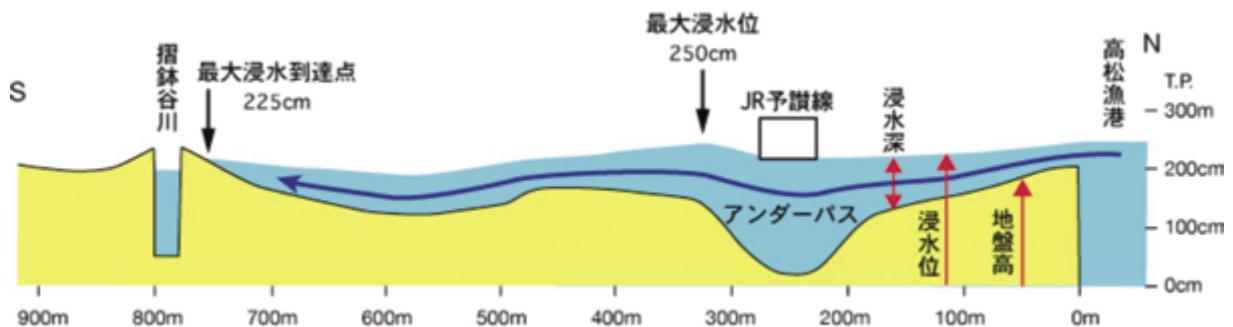


図8 高松漁港から流入した高潮浸水の浸水位と押し寄せた流れ（T.P.は東京湾平均海面）

3. 浸水による建築物の被害状況

3.1 台風16号による高松市市営住宅の被害

(1) 朝日町団地

- ・浸水深は地盤高より80cm（図9の赤線）で、1階の床の高さ69.5cmを超えた。全体72戸の中、1階の18戸が被害にあった。その全てについて木工事、襖・畳工事、内装工事、雑工事を余儀なくされた。また防疫のため、消毒作業を実施した。
- ・設備工事は、水道集中検針設備、給水電気設備、流し台、コンセント取替をした。
- ・**今後は、1階の床レベル、設備（特に電気系統）の配置に対策を要する。**

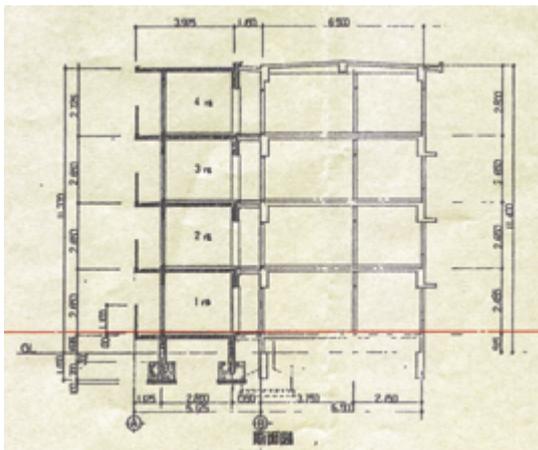


図9 朝日町団地断面図（高松市土木部住宅課）



図10 朝日町団地被害状況（同）

(2) 香西本町団地

- ・浸水深は地盤高より167cm（図11の赤線）で、全体36戸の中、1階の4戸が被害にあった。その全て、および集会所の改修工事を余儀なくされた。
- ・設備工事は、水道集中検針設備、給水設備（ポンプユニット）、浄化槽設備、引込盤他電気設備、緊急急報設備、昇降機設備（エレベーター）等。
- ・**今後は、1階はピロティにして駐車場などの用途に変更するなどの対策も考えられる。**

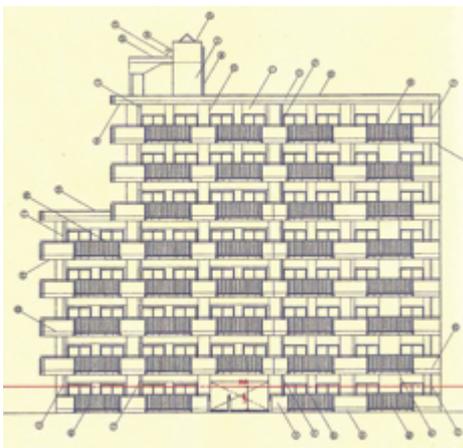


図11 香西本町団地南側立面図（同）



図12 香西本町団地被害状況（同）

3.2 台風16号による高松市中央商店街の被害

(1) 兵庫町商店街（金光孝夫・高松兵庫町商店街振興組合理事長にヒヤリング）

- ・浸水により店舗1階で下水の逆流が起きた。これは都市下水道の系統や排水ポンプの能力に課題が残る。
- ・店舗の地下階に浸水を防ぐには、自己防衛しかない。排水ポンプが必要。
- ・排水設備がなく、プールのように水が長時間におよび滞留した。（図13参照）

(2) 片原町西部商店街（岡田憲政・高松片原町西部商店街振興組合理事長にヒヤリング）

- ・浸水により町営駐車場のターンテーブルなどの修理を余儀なくされている。
- ・とりあえず土嚢を用意したが、今後は集団的な防御として、水の侵入経路上に浸水を防ぐ堰が可能などうか検討したい。

(3) 丸亀町商店街（長尾誠明・高松丸亀町商店街振興組合事務局長にヒヤリング）

- ・近く着工する再開発ビル（図15のA地区）の地下電気室などを地上階に変更したい。四国電力は維持管理の都合から、1階もしくは地下階を希望しているが、将来の浸水被害が心配である。（図14参照）
- ・中心商店街の南部は、地盤がわずかに高い微地形により浸水を免れた。



図13 兵庫町商店街アーケード内の浸水
（8月31日未明、仲谷英夫撮影）

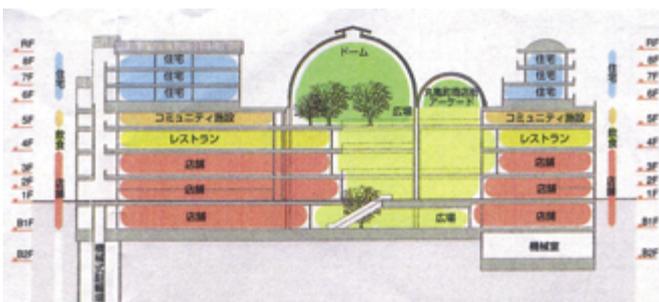


図14 高松市中心商業地区市街地総合再生計画
「高松丸亀町商店街A地区」
（高松市都市開発部都市再開発課）

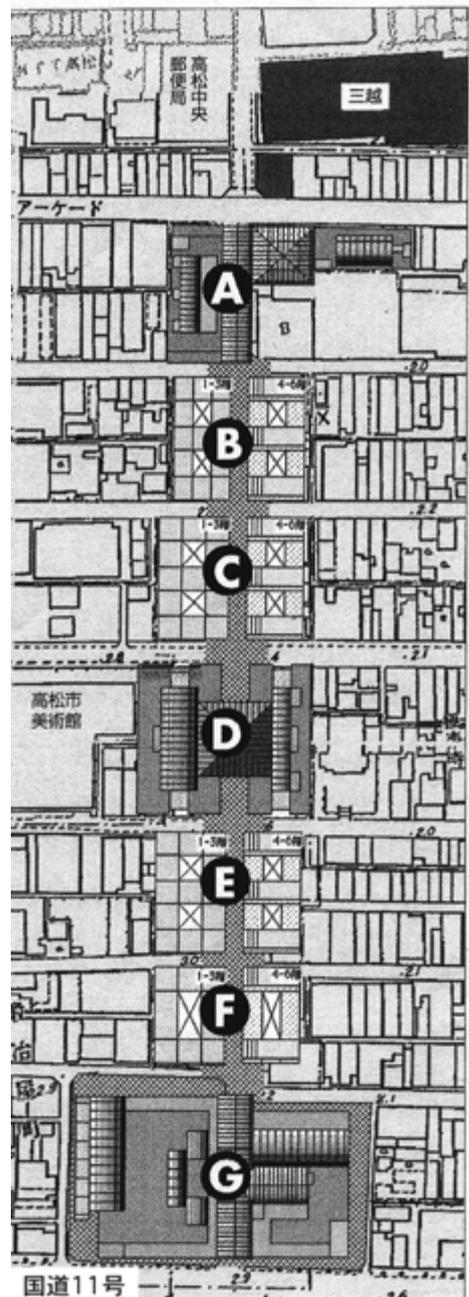


図15 再開発全体計画図（同）

3.3 台風23号による東かがわ市笠屋地区の被害

笠屋地区における増水の状況は以下の通りである。平成16年10月20日午前中に湊川の水位が徐々に上昇し、午前10時頃ダム放流のサイレンが鳴る。正午過ぎに湊川の水が堤防を越え笠屋地区に侵入、下流へつながる最短の川筋となってしまう濁流となる。水位は約1.5m。4世帯に大きな被害が出たが、人的被害はなし。午後9時頃に水位は下がり始め、翌朝には水が完全に引いた。

図16～18に示したように、上流からの河川の氾濫が原因で、建築物が水流・水圧で壊され、浸水した。東かがわ市の住家被害は、市の調査によると床上浸水489棟、床下浸水1,064棟であった。



図16 湊川土手決壊状況



図17 長町邸倉庫。水流が倉庫の壁を突き破った。

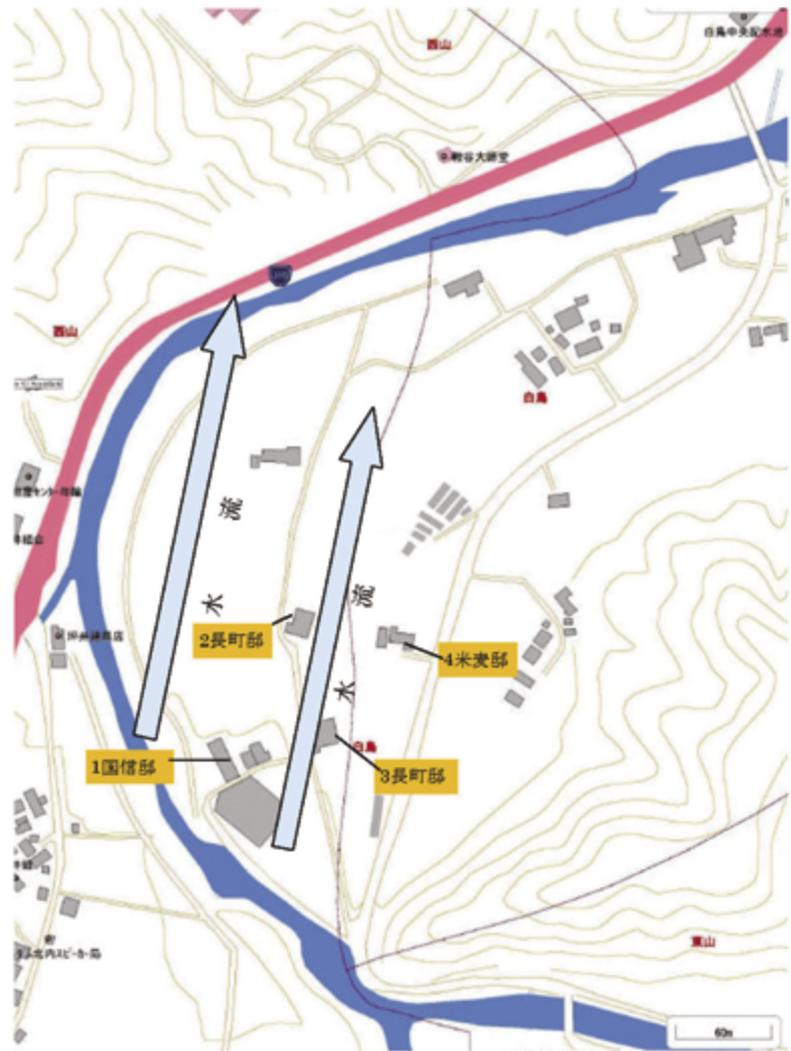


図18 東かがわ市笠屋地区湊川流域の水流と被害状況

参考文献

寺林 優・越智 信・仲谷英夫、平成16年台風16号による高松市街地西半における高潮浸水、地盤工学会誌、第53号、第1号、37～39頁、2005。

国土交通省住宅局建築指導課編集、建築物と敷地、『2004図解建築法規』新日本法規、28～30頁、2004。

4. 公共建築物の高潮被害と対策

構造物班：松島 学（工学部安全システム建設工学科）
吉田 秀典（工学部安全システム建設工学科）

1. はじめに

平成16年の夏発生した台風16号により、高松市は甚大な高潮被害を受けた。浸水で被害を受けた地域は、高松市東部の福岡町、木太町、香西本町である。その結果、浸水深さは1mにも達し、各所で高潮により床上浸水、地下室への流入などによる被害を受けた。高潮による流入は、進行過程で家庭排水なども含まれた劣悪な水質状態になり、被災後の処理が問題となった。被災した電気設備・精密機械類・家具等はほとんど再使用が不可能となり、建物の再使用に問題がなくとも、甚大な費用負担が発生した。本調査は、高松市内の重要と考えられる公共建物の対高潮性能を調査した報告である。ただし、地区の小中学校などは対象からはずしている。

2. 高潮被害

ドライエリアの被災例を図1（a）、（b）に示す。手前側から階段で地下に下りる構造になっており、この方向から高潮時には浸水した。写真中にも見られるように、（a）では排水ポンプが設置しているのが見える。（b）では土嚢を設置したままになっている。この建物では、地下室の電気系統、機械類が使用不可能になり、取り替えることになり、甚大な費用負担が発生した。高潮に対するマニュアルがあれば、高潮からの被害を防げたと考えられる。図2（a）は総合病院のドライエリアの例である。蹴上げ高さは、20cmしかなく、高潮に対する抵抗力は全くない。図2（b）は、地下進入路の典型的な例である。建設された時期は新しいにもかかわらず、防潮板は設置されていない。

一方、地下進入路で防潮板を設置した被災を逃れた例を図3（a）、（b）に示す。高潮時には、この地下室進入路の防潮板高さの2/3ぐらいまで、水位が高くなったことが報告されている。（b）は入口の防潮板設置例で、高潮時でも出入りができたとの報告がある。高潮被害には、この2つの例を比較してもわかるように、防潮板が有効であることがわかる。図4（a）は、建物そのものを高くし、路面から1.3mに入口が設置されているケースである。地盤面が低いことを考えて、敷地そのものを高くした例である。図4（b）は、常時入口に防潮板を設置した例である。



図1（a） ドライエリア（ここから地下室に浸水）



図1（b） ドライエリア（同左）



図2(a) ドライエリア（蹴上げ高さ20cm）



図2(b) ドライエリア（防潮板なし）



図3(a) 地下進入路の防潮板設置状況（この防潮板により高潮災害を逃れた。）



図3(b) 入口の防潮板設置状況

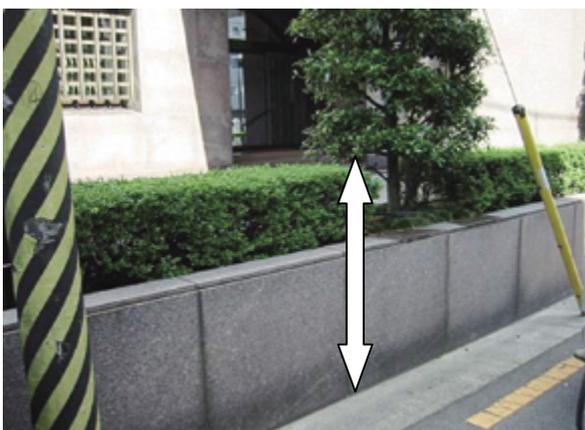


図4(a) 入口が高い（近傍の路面から1.3m高さ）



図4(b) 常時設置された防潮板（スライド式）

3. 被害ランク

高松市内の公共建築物の高潮に対する性能を評価した。対象となる公共建物は、高松市内にある総合病院、電力、通信用建物など公共機関の建物全56箇所である。高潮で問題となるのは2.での被害調査から次の項目であることがわかった。

(1) 蹴上げ高さ・・・1階部の床高さと周辺での地盤高さの差。1階部が地盤高さより高いと

高潮の被害を受けにくい。

- (2) 出入口・・・建物出入口部の防潮板の設置状況。高潮が発生し収束するまでに半日以上の間がかかるために、出入口に防潮板がないと病院などでは患者を搬入できない。
- (3) 地下進入路・・・公共建物では地下室が駐車場になっていることが多く、進入路から浸水する恐れが考えられる。地下進入口に防潮板を設置することで、高潮被害を防いでいる。
- (4) ドライエリア・・・地下室前面に設けられた空堀のことである。時には、直接地下に出入りできる階段になっているものもある。ドライエリアの存在には気づかないことが多く、本高潮でも各所に防潮板を設置したにもかかわらず被災した建物がある。

高潮対策での公共建物の安全性評価を行うための区分を表1に示す。この項目に沿ってランクをつけ、各公共建物の対高潮性能を整理した。調査した各施設の表1を用いて設定した対高潮性能のランク一覧を表2に示す。

表1 対高潮性能区分

ランク	AA	A	B		C
入り口	防潮板有	防潮板無	防潮板無	防潮板無	防潮板無
地下進入路	存在無または防潮板有	存在無または防潮板有	存在無または防潮板有	存在有または防潮板無	存在有または防潮板無
ドライエリア	存在無または防潮板有	存在無または防潮板有	存在有または防潮板無	存在無または防潮板有	存在有または防潮板無

4. 用途別の対高潮性能

4.1 総合病院

対象となる総合病院は、緊急時にも活動が要求される公共施設である。地下室やドライエリアがある建物が一般的である。特に、地下室に電源室あるいは大型の精密機械等が設置してある場合が多く、高潮により浸水した場合、病院としての機能を喪失する恐れがある。調査した総合病院は全6箇所である。調査した総合病院のランクを図5に示す。本来なら全てランクAAとなるべきであるが、個々の病院の事情によりランクが大きくばらつく。特に、建設時期が古い病院ではランクCとなっている。

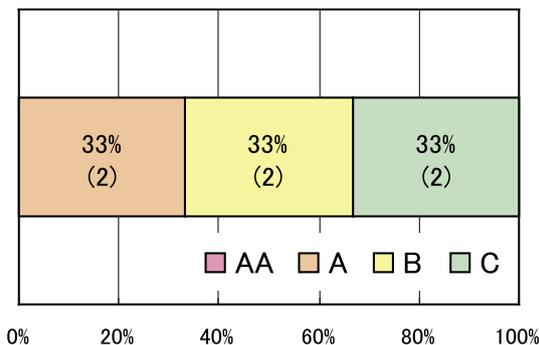


図5 病院のランク

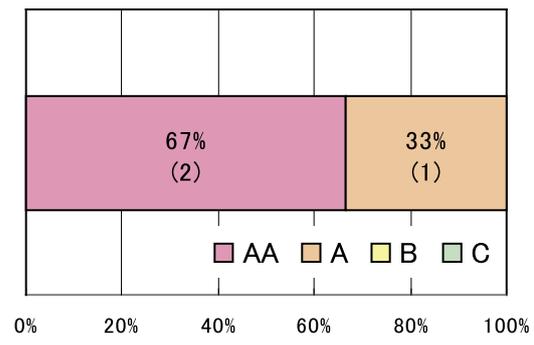


図6 電気通信施設

表2 用途別の対高潮性能のランク（その1）

施設分類	施設名	ランク
医療施設	県立中央病院	C
	高松大林病院	B
	赤十字みどり園	A
	高松赤十字病院	C
	高松病院	A
	屋島総合病院	B
報道局	N H K 高松	A
	西日本放送R N Cホール	A
文化交流施設	高松市美術館	A
	県民ホール	A
	県民小ホール	A
	香川県歴史博物館	A
	アイパル香川国際交流会館	AA
	県文化会館、県社会福祉総合センター	A
	高松テルサ	A
電気・通信施設	NTT高松北ビル	AA
	四国電力本社	AA
	JR四国本社	A
緊急避難施設	高松市総合体育館	A
	木太公民館	A
災害時拠点施設	高松北警察署	A
	県警本部	B
	国土交通省四国地方整備局	A
	高松市役所	A
	香川県庁	A
	香川県庁東館	A

表2 用途別の対高潮性能のランク（その2）

国・県・市等施設	高松法務合同庁舎、法務局高等検察庁、地方検察庁	C
	高松市水道局	A
	高松高等裁判所	A
	高松家庭裁判所	A
	高松中央局（郵政公社）	A
	四国経済産業局	A
	高松東郵便局	A
	屋島出張所	A
	香川県土地家屋調査士会館	A
	弁護士会館	A
	港湾旅客ターミナル	B
	日本銀行高松支店	AA

4.2 電気通信施設

電力・通信などの建物は、災害時に機能なくなると、一般生活や緊急の救助に甚大な被害を及ぼすことは自明である。電力・通信などの建物は被害を想定し、津波被害等も含め対策がなされている。調査した電気通信施設のランクを図6に示す。すべてランクA以上であり、これらの設備に対する重要度が伺える。

4.3 報道施設

調査した報道施設のランクを図7に示す。報道施設は調査した箇所が2箇所のみであるが、全てランクAに入っており、十分とは言えないが、問題がない範囲に納まっている。

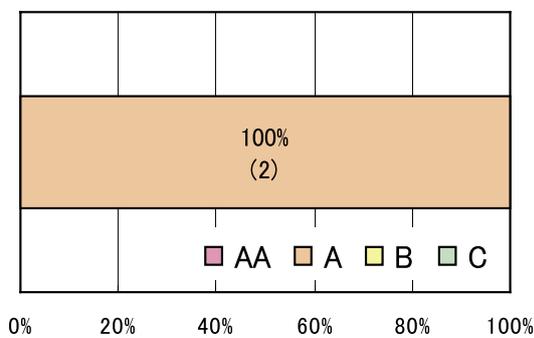


図7 報道施設

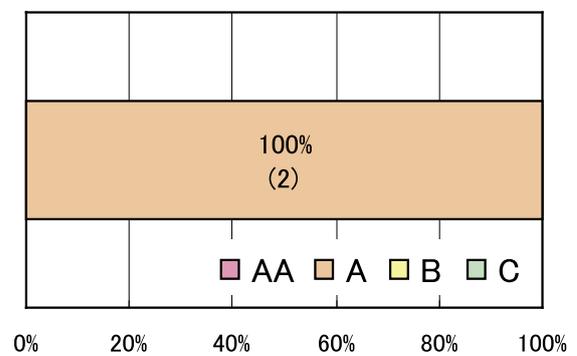


図8 緊急避難施設

4.4 緊急避難施設

緊急避難施設は、緊急時に避難場所として指定されている体育館などの公共施設である。調査した緊急避難施設のランクを図8に示す。緊急避難施設は2箇所しかないが、全てランクAである。災害時に多数の人が避難することを考えると、ランクAで良いのか否かについては議論の余地がある。

4.5 文化交流施設

文化交流施設は、コンサートホールや美術館などを区分した。これらの施設は非常時には避難場所にもなりうる公共施設である。調査した文化交流施設のランクを図9に示す。全ての施設でランクA以上であり、十分な機能を持っていると考えられる。

4.6 災害時拠点施設

災害時拠点施設とは、災害時に拠点となる警察・役所・国土交通省などの公共施設を区分した。調査した災害時拠点施設のランクを図10に示す。施設の大半がAランクであり、十分な対策が採られていると考えてよい。しかしながら、1施設だけランクBがあった。

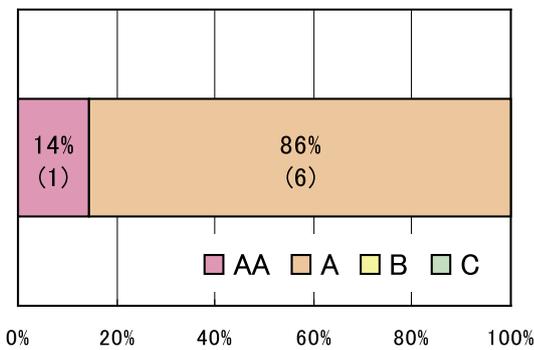


図9 文化交流施設

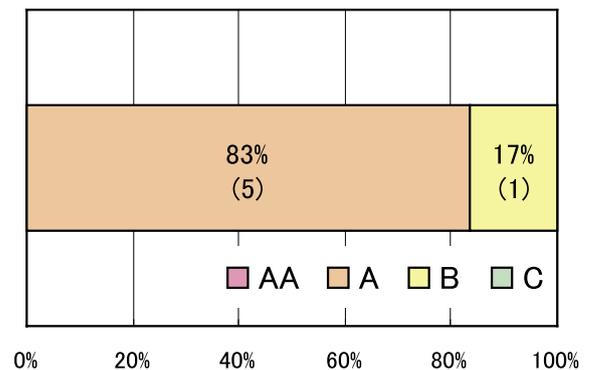


図10 災害時拠点施設

4.7 国・県・市等施設

調査した国や県事務所などの公共施設のランクを図11に示す。8割以上がランクAである。しかしながら、一部ランクCのものもあり、問題と思われる建物もある。施設の性質を考えると少なくともランクAまで対策をする必要があると考えられる。

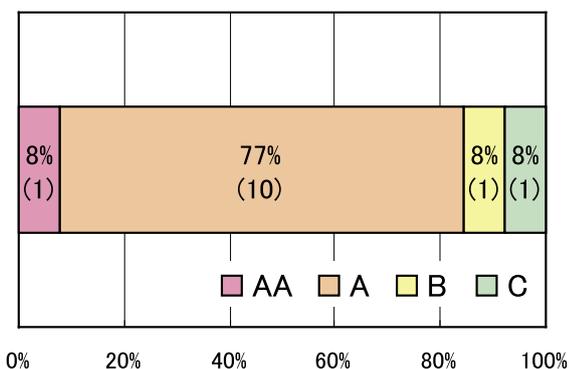


図11 国・県・市等施設

5. 高潮被害と対策

これからも高潮被害により何らかの被害を生じることが明らかである。高潮被害を軽減するためには、ソフトの対策が大きな鍵となっており、今回の高潮被害で被害の明暗を分けている。何もできず甚大な被害を受けた建物の隣に、早くから高潮の水位の情報を把握し、マニュアルの通り対高潮対策を取り、被害を逃れた建物があるのが象徴的である。防潮板を設置しているにもかかわらず、裏にありよく分からない位置にあるドライエリアから浸水した建物など、前もって調べておけば土嚢などを積むことにより被災を逃れたであろうと推定できる。聞き取り調査でも、地下進入路に防潮板の設置ができるにもかかわらず、防潮板がどこにあるのか分からない例があった。

各施設別で特徴的なのは、総合病院が非常に高潮に対して脆弱であったということである。病院の建物の構造は、どうしても複雑になる。地下室に大型の精密機械などを設置することが多いことからドライエリアを数多く設置している。ドライエリアの設置が、総合病院の対高潮性能を著しく低下させている理由である。

高潮災害は、被災するまでに時間があり、比較的対策が立てられやすい問題である。災害に備え、各建物の特性に対応したマニュアルを整備すれば、十分に被害を低減することができるはずである。

6. 津波対策

東南海地震あるいは南海地震がここ数十年には必ず起るといわれている。今回の高潮での被害の教訓を地震で起こるであろう津波への防災に繋げる必要がある。南海地震で発生した津波が高松まで来るまでに、1時間から2時間の時間があり、十分に準備をする時間的余裕がある。一般の人は、津波と高潮の違いの区別がつかないことも周知する必要があるが、決定的な違いは津波は破壊力があるということである。津波高さとの建物の被害の関係を図12に示す。図に見られるように、1～2mの津波で、木造家屋は倒壊する。避難する拠点建物を決める必要がある。避難する拠点建物は、鉄筋コンクリートで3階建て以上のものを考える。今までの津波被害でも、4mまでは鉄筋コンクリートの建物は持ちこたえた実績がある。特に、1階がピロティ形式のものが有効である。

津波高さ				
	1m	2m	3m	4m
木造家屋	部分的被害	全面被害		
鉄筋コンクリート	持ちこたえる			
防潮林	被害は軽微。漂流物を阻止できる。下草が蜜であれば流勢も緩和できる。	部分的に被害を受ける。漂流物を阻止する効果はある。林帯に表土洗掘などの被害発生。		全面被害

図12 津波高さによる被害

5. 河川の氾濫・浸水要因と対策

河川班：河原 能久（広島大学大学院工学研究科）

角道 弘文（工学部安全システム建設工学科）

末永 慶寛（工学部安全システム建設工学科）

野々村敦子（工学部安全システム建設工学科）

1. はじめに

平成16年の夏から秋にかけて香川県では近年にない降水量を記録し、多くの河川災害が発生した。

その中でも、台風23号は、平成16年10月19日～20日に香川県に記録的な降水量をもたらし、河川氾濫や土砂崩れ等を多発させた。東かがわ市やさぬき市等5市11町では避難勧告が出された。香川県内では、人的被害として死者11名、住家被害として全壊53棟、半壊65棟、一部損壊237棟、床上浸水4,857棟、床下浸水13,152棟を出した。また、一般被害以外に、公共土木施設（県管理：110億円、市町管理：89億円）や農林水産関係（265億円）等に甚大な被害¹⁾が発生した。

図1に10月19日～20日にかけての四国地方での降水量の分布²⁾を示す。四国全体では広範囲にわたり400mmを越える降水量を記録した。香川県での2日間の降水量は、高松で285mm、多度津で210mm、内海で367mm、滝宮で275mm、引田で395mm、財田で283mm、竜王山で287mmであった。特に、東かがわ市では広い範囲で500mmを越える記録的な豪雨に見舞われた。

また、東讃地域では、時間雨量が100mmを超えた地点もあり、多くのダムでは流入水量が計画を超え、但し書き操作を行う事態となるとともに、洪水氾濫が多発した。

降雨量の時間変化の例として、図2に春日川沿いの公測地点での時間雨量と積算雨量を表す。10月20日10:00ごろから本格的に降り始め、14:00には時間雨量87mmを記録した。公測での20日の日降水量は345mmと猛烈な豪雨となった。

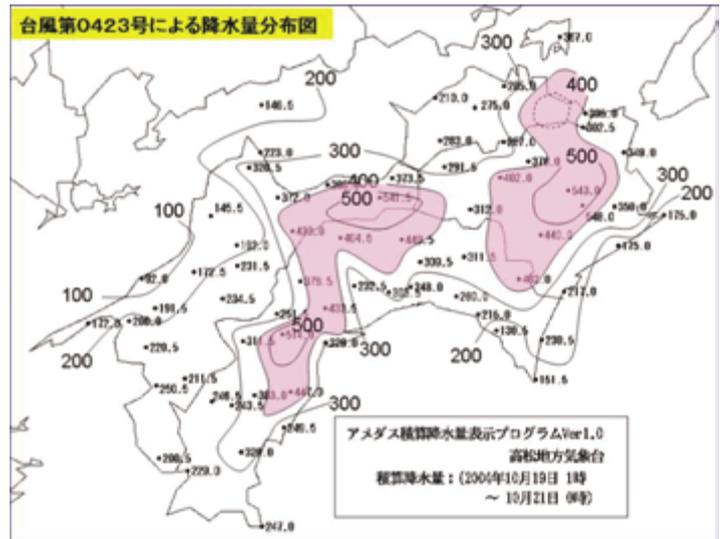


図1 10月19日～20日の降水量の分布²⁾

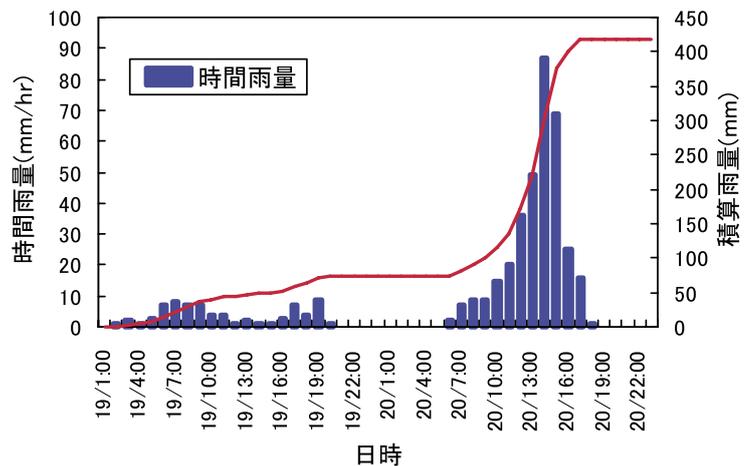


図2 公測での時間雨量と積算雨量（10月19日～20日）

10月20日の14:00、15:00におけるレーダ雨量計での観測結果を図3に示す。14:00に春日川から東讃地域にかけて豪雨の区域が広がっている様子が見える。

2. 高松市における氾濫の発生

稀に見る豪雨により、高松市内では浸水が多発した。図4に高松市域での浸水状況を示す³⁾。中心市街地では排水不良による氾濫（内水氾濫）が発生している。特に、福岡町、松島町一帯は低平地で

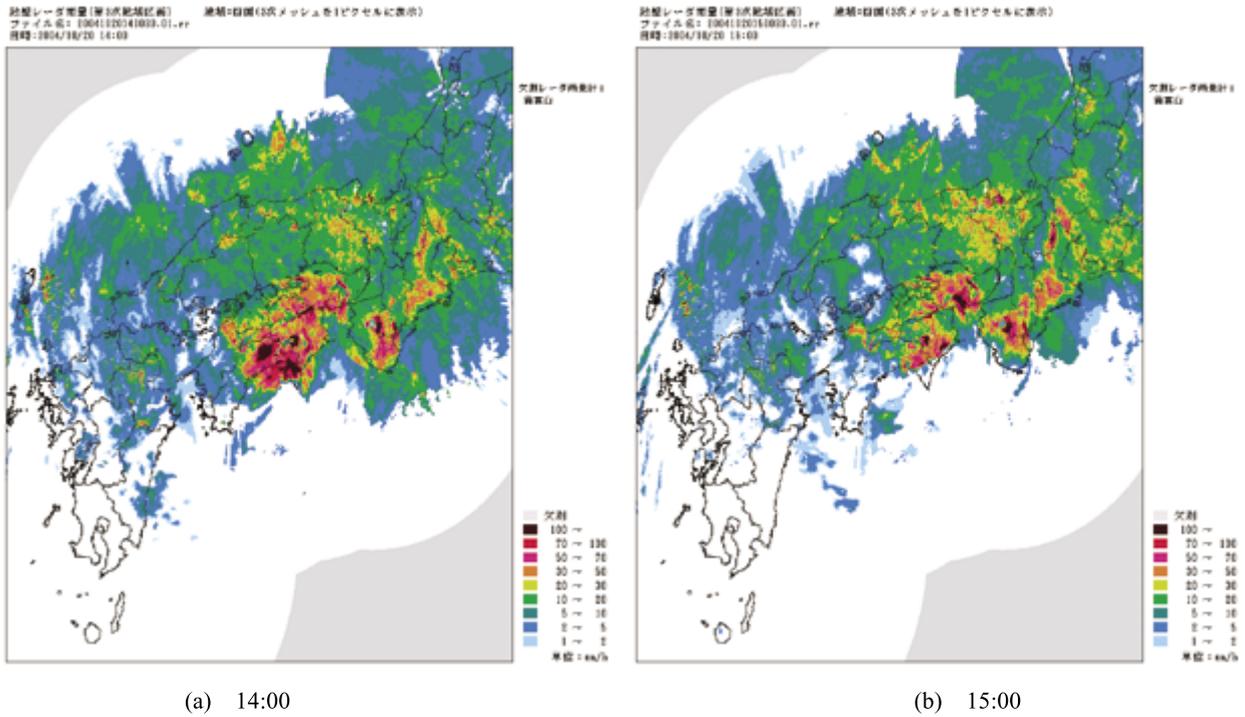


図3 台風23号による10月20日のレーダ雨量

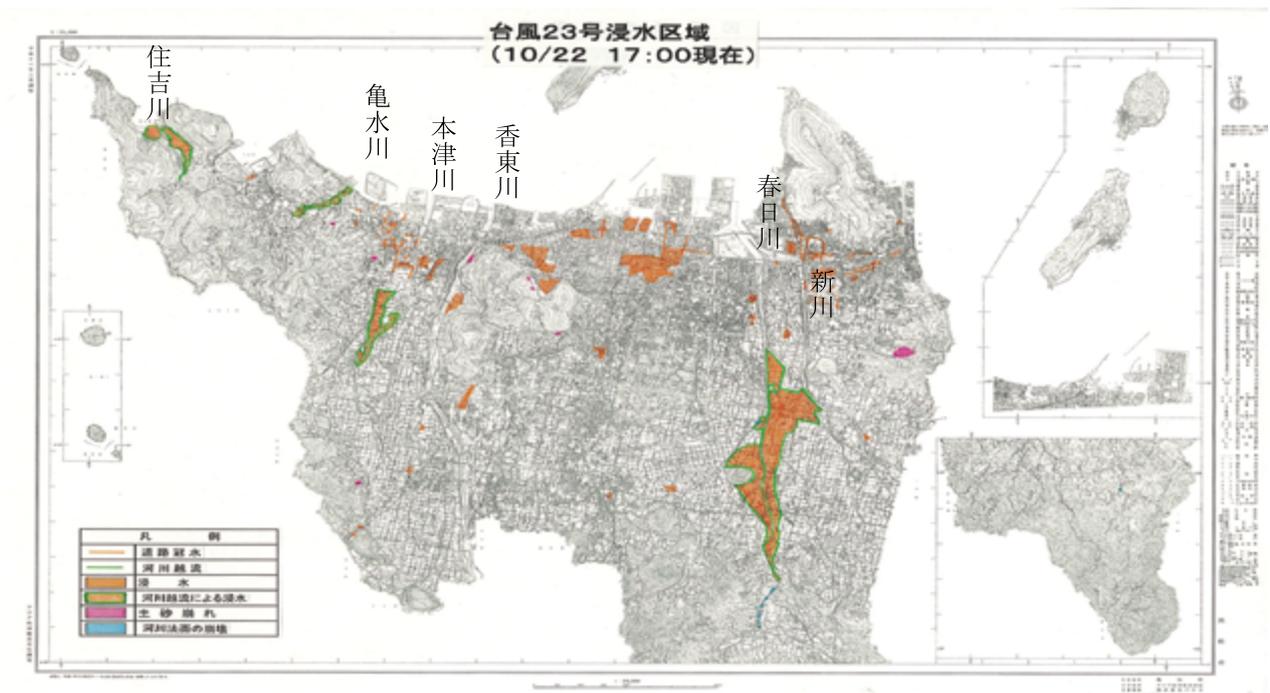
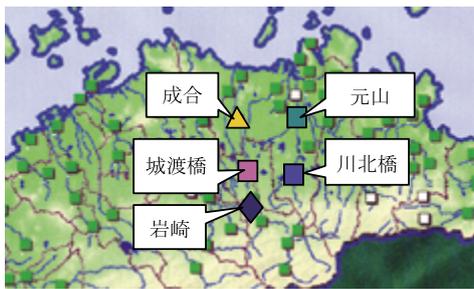


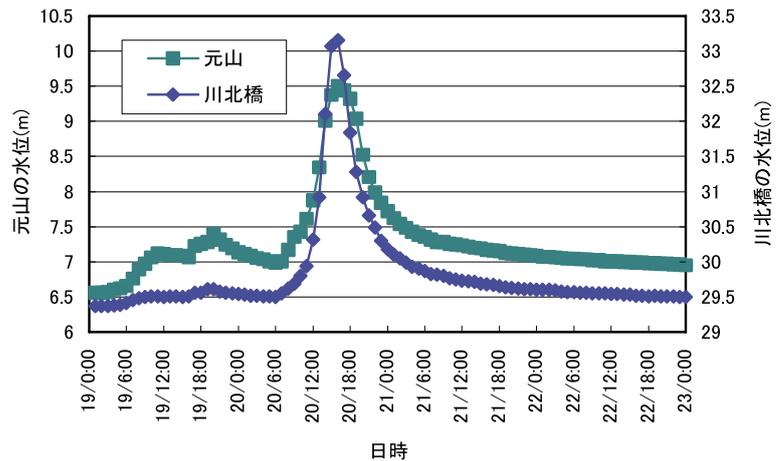
図4 台風23号による高松市内の浸水地域



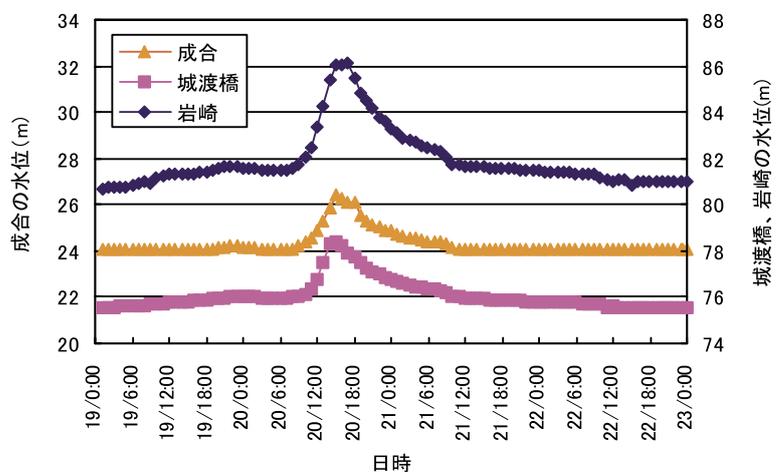
(a) 観測地点

あり、下水道の排水能力が限られているために、豪雨であれ高潮であれ、水が溜まれば浸水が長期に及ぶ状況にある。また、春日川、本津川、亀水川、住吉川では豪雨が一気に河川に流入し、洪水が堤防を越え、氾濫（外水氾濫）が発生した。

図5に、春日川の川北橋（中流）と元山（下流）および香東川での3地点における水位の時間的な変化を示す。春日川では水位は10：00頃から急激に上昇しはじめ、16：00ごろにピークをとり、その後短時間に低下している。この洪水に対して春日川は上流域、中流域で氾濫を起こした。一方、香東川では、岩崎地点での水位変動は急激であるが、下流の成合地点での変化は小さくなっている。香東川では氾濫が発生しなかったが、その理由として、河道の洪水疎通能力が大きいことや内場ダムでの洪水調節が機能したことが考えられる。



(b) 春日川の水位



(c) 香東川の水位

図5 河川の水位変化

3. 春日川での氾濫状況

春日川沿いに発生した氾濫流の特徴を図6に整理しているが、次のことを指摘することができる。

- 1) 下流部の河川改修区間（70年確率の降雨に対応）では越流による氾濫は発生しなかった。
- 2) それに対して、上流区間や中流区間では多くの箇所でも越流が発生

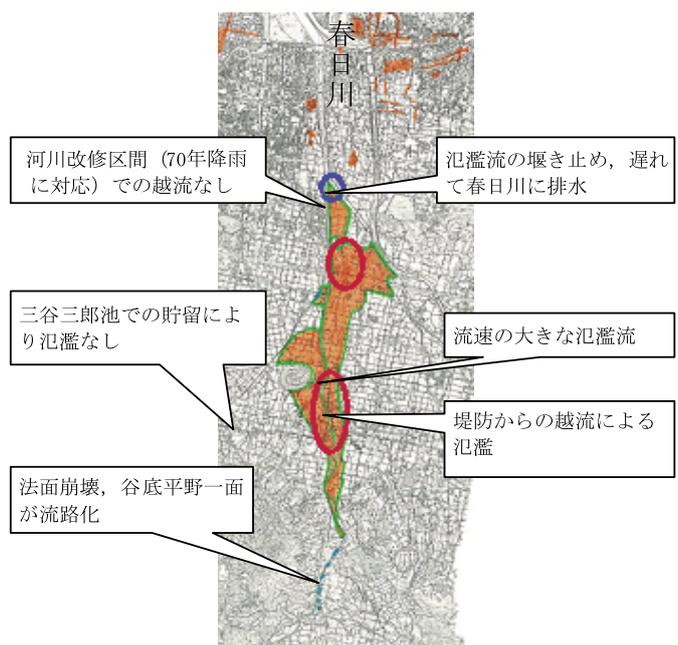


図6 春日川の氾濫流の特徴

した。これは、豪雨により洪水の規模が大きく、河道の洪水疎通能力を大きく上回ったためと推定される。

3) 流木等が橋梁部にひっかかり、流れの抵抗になるとともに、橋梁部で堤防の越流を引き起こした(図7)。

4) 河川沿いの道路をかなりの流速で氾濫流が流れた。このため、水深、流速が大きく避難できない状況が発生した(図8、9)。

5) バイパスのアンダーパスに氾濫流が浸入した。防止対策の必要性がある(図10)。

6) 右岸側の氾濫流は新川と春日川の間位置する堤防のような構造物によって止められ、そこから春日川に戻った(図11)。

7) 三谷三郎池では工事のため水位を下げていたためか、その下流部では氾濫が発生せず、下流での氾濫域の拡大防止につながった。

なお、図11の堤防のような構造物は明治末期の地形図には記載されており、撤去されることなく残されている。また、両河川に挟まれる地域は過去においても浸水の経験がある。住民のなかには土地の成り立ちや水害の履歴をよくご存じの方がおられたが、台風23号の浸水深を先回と同程度の床下水深と過小評価したため、床上浸水対策が間に合わず大きな被害を被られた。この例は、過去の被災経験が悪い方向に作用したものであり、的確な情報伝達の必要性が確認された。



図7 川島橋の上流側での流木による阻害(左)と下流側での土砂の流失



図8 川島橋周辺地区での氾濫流の痕跡



図9 川島橋周辺地区での氾濫流による自動車の流失と草木等の痕跡

4. 本津川での洪水被害

図4から知られるように、本津川においても越流による氾濫が発生した。また、大洪水の流下に伴い、多くの箇所では護岸の破損が発生した。

図12は橋梁の取付部周辺での被害の状況である。土砂の流失とともに道路舗装も被害を受けてい



図10 アンダーパスへの氾濫水の浸入



図11 新川と春日川の間に残されている堤防のような構造物 (氾濫水が下流側に流れるのを止めた)



図12 西部運動センターの上流部での橋梁部周辺の被災状況
(氾濫水による土砂の流出と道路の破損)

る。図13は護岸の被災と変電施設を取り囲むフェンスの被災状況である。フェンスに残る草や稲わらやフェンスの変形・転倒状態から、大きな流速の氾濫流が発生したことが伺える。図14に中流区間での護岸や住家の被災状況を示す。図15は倒壊した家屋の洪水終了後の写真である。洪水直後の写真より、家屋が河道の水衝部に位置している様子が見てとれる。図16、17は堤防を越流した氾濫流の跡を



図13 西部運動センターの上流部での護岸と変電施設の被災状況



図14 護岸の破損



図15 護岸の破損と家屋の倒壊、右は洪水直後の空中写真



図16 本津川での越流箇所（堤防の背面の土砂が流失）



図17 氾濫水による土砂輸送と小道路の流失（図16の堤内側の状況）

示したものである。護岸背面では土砂が流失しているが、下流の田畑では土砂の細粒分の堆積が確認される。氾濫流は小道路を乗り越え、堤内地へと広がっていった。

5. 湊川での浸水被害

図1に示すように、東讃地域の豪雨は凄まじいものであった。図18の福栄小学校では河川の護岸が崩れるとともに建物も損壊した。また、氾濫流が校庭を流れるなど多大な被害が発生した。図19は福栄小学校の上流側に位置する北原橋周辺での被災状況である。橋梁によって流木等が捕捉され、橋を迂回するような越流が生じたものと推測される。左岸側の橋の付け根部分では土砂が流失していた。また、北原橋の下流の右岸では道路の路肩が流失している。

図20には、下水処理施設を取り囲むフェンスに多量の流木等が捕まっている様子が見られる。氾濫水が深く、速く流れたことを示している。図21は水田に取り残された自動車と福栄小学校の上流側のフェンスに押し寄せた流木等の状況を表している。これらより、河道だけでなく堤内地にも相当量の水が流れ、多大の被害を生んだことが推測される。

6. 新川、津田川での洪水被害

春日川、本津川、湊川以外にも多くの箇所では被害が生じた。図22は新川での護岸と堰の被災時事例である。また、図23、24に、津田川での護岸や道路の損壊と家屋の倒壊の様子を示す。



図18 湊川沿いの福栄小学校の被災（護岸と構造物の転倒と流失）



図19 福栄小学校の上流の北原橋周辺での被災状況



図21 福栄小学校周辺での氾濫流による自動車や流木等の流下



図20 北原橋下流の右岸での流木等の集積状況



図22 新川福万大橋の護岸の被災



図23 津田川での護岸の被災



図24 津田川での家屋の被災

7. まとめ

台風23号による洪水被害の全般的な特徴として以下のことを挙げるができる。

- 1) 記録的な豪雨により、河川流量が極めて大きく、水位も急激に上昇した。
- 2) 河川の上流域では、洪水流は崩れた土砂や流木等を集め、堤内地に氾濫した。中流域においても河道の洪水疎通能力が不足するところでは越流したり、護岸や隣接する家屋を破壊した。
- 3) 橋梁部では、流木、稲わら等が捕捉され、洪水の流下を阻害した。そのため、橋梁部で越流し、河川構造物を破損した。

今回のような異常ともいえる豪雨に対して被害をゼロにすることは困難である。被害を最小限に食い止めるには流域においてハード対策だけでなくソフト対策を充実させた総合的な取り組みが不可欠である。今回の水害をもとに今後検討すべき事項を考えると、以下のことが挙げられる。

- 1) ダムや溜め池等の洪水調整機能の向上
- 2) 河川改修による洪水疎通能力を増加、農業用水路の排水能力の向上
- 3) 河川の氾濫水を許容する地区の設定と補償制度の検討
- 4) 水防団や自主防災組織の強化、訓練の実施
- 5) 洪水氾濫情報の住民への的確な伝達方法の構築
- 6) 被災直後の支援体制の強化
- 7) ハザードマップ等の整備による住民の災害意識の向上

治水対策は長い年月と多くの費用を必要とする。有効な対策を限られた期間、予算内で実現するためには、河川の上下流の対立、左右岸での対立、治水対策と環境保全の両立、担当部局間での調整等が必要になる。また、治水対策は洪水時のみに役に立つのではなく、普段での生活にも役立つものでなければならない。

災害軽減に関して大学の役割は大きく二つあると考える。一つは技術的な貢献である。総合的な治水対策を検討できる解析ツールを開発し、行政、住民間での合意形成に貢献すべきである。もう一つは、地域のシンクタンクとして、継続的な情報発信を行うことである。災害全般の情報の収集・解析、中長期的な地域防災ビジョンの作成等を継続的に行い、安全で安心して住むことのできる地域の実現に貢献すべきである。

参考文献

- 1) 高松地方気象台：平成16年（2004年）台風第23号に関する香川県内の気象速報、5p.、2004.
- 2) 香川県災害対策本部：平成16年台風23号に関する被害について（第15報）、2004.
- 3) 高松市：台風23号浸水区域（10/22 17：00現在）、<http://www.city.takamatsu.kagawa.jp/>、2004.

6. 平成16年台風15、21、23号による香川県内の土砂災害の被災要因と対策

土砂災害班：長谷川修一（工学部安全システム建設工学科）
 吉田 秀典（工学部安全システム建設工学科）
 山中 稔（工学部安全システム建設工学科）
 野々村敦子（工学部安全システム建設工学科）

1. はじめに

香川県では、8月17日の台風15号による集中豪雨によって、県西部の大野原町、豊浜町を中心に土石流災害、浸水被害が発生し、5名の死者が出た。その傷も癒えないうちに、8月30-31日の台風16号による強風と高潮浸水によって高松市街地を中心に沿岸部で2万棟を超える浸水被害が発生し、3名の死者が出た。更に9月29日には、台風21号による豪雨が再び県西部の被災地を襲い、多数の土石流および浸水被害が発生した。これらの台風災害による県内の公共土木施設および農林水産関係の被害は、約84億円に達している。しかし、10月20日の台風23号による香川県の被害は、これらの合計をも超える規模となり、死者・行方不明者11名、住宅の全半壊88棟、約1万8千棟の浸水被害が発生した。平成16年12月9日現在の香川県の集計によれば、台風23号による県内の公共土木施設および農林水産関係の被害は、465億円に達する。

土砂災害班では、台風15、21および23号による香川県内の土砂災害の実態と被災要因について調査を行ったので、その特徴と防災対策の課題と対策について報告する。また、台風21号によって多数の崩壊土石流の発生した西讃の豊浜町・大野原町と台風23号によって多数の崩壊土石流の発生し東讃のさぬき市大川町森行地区とさぬき市寒川町門入地区の崩壊の発生要因についても現地調査を行ったので、その概要もあわせて報告する。

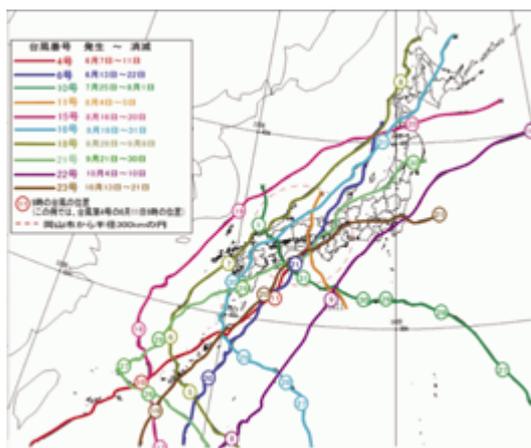


図1 平成16年に日本に上陸した台風
 (大阪管区気象台ホームページより)

表1 平成16年台風による四国の被害概要

死者・行方不明者(人)

台風	上陸・最接近日	香川	徳島	愛媛	高知	計
4	6月11日					0
6	6月20日					0
10	7月31日		2	1		3
11	8月4日					0
15	8月19日	5		4		9
16	8月30日	3		4		7
18	9月7日			1		1
21	9月29日			14		14
23	10月20日	11	3	5	8	27
合計		19	5	29	8	61

□ 県庁 HP □ 国土交通省 HP

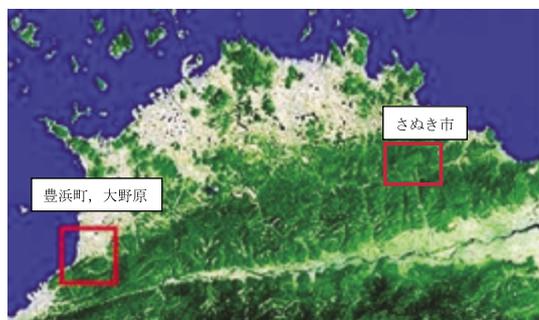


図2 調査地案内図

2. 台風15号による土砂災害

2.1 土砂災害の概要

台風15号では、8月17日午後の豪雨によって、香川県西部を中心に死者5名のほか、道路、ため池堰堤などに被害が発生した。大野原町五郷では、最大時間雨量54mm、累積雨量297mmを記録した。香川県西部の大野原町と豊浜町を中心に土砂災害が発生した。

大野原町五郷有木では、17:40頃落合川谷頭部で発生した崩壊が、土石流②となって溪床堆積物を押し流し、この土石と流木が川をせき止めた。その結果前田川が氾濫して、川岸にある落合自治会館①に自主避難していた4人を押し流し、うち2人が死亡した(図3、4)。

豊浜町和田では、高尾山(標高495.5m)の北斜面の斜面から表層崩壊が発生し、土石流となった麓の梨園を襲った。幸いにも、土石流はため池や竹やぶに捕捉され、人家への被害はなかった。

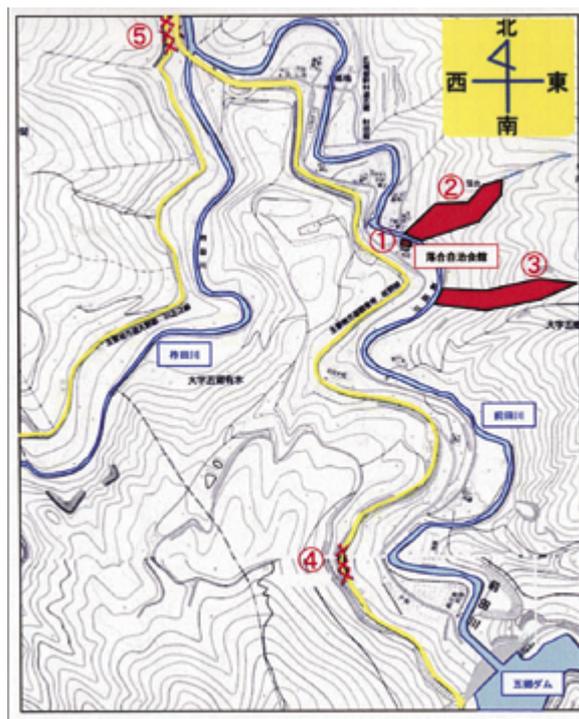


図3 大野原町五郷地区の被災状況
(香川県土木部河川砂防課の速報に加筆)

① 前田川(落合自治会館前) 被災及び復旧状況



図4 大野原町五郷地区の土石流による被災状況及び復旧状況
(香川県土木部河川砂防課の速報より)

2.2 被災要因

台風15号に対しては、高松地方気象台が大雨洪水警報を14時15分に発令し、大野原町役場では、15時過ぎに避難を呼びかけていた。五郷地区では、落合から約1km下流の五郷活性化センターが避難所に指定されていた。しかし、集中豪雨のさなか指定避難所へ向かう県道が土砂崩れで通行止めに

なっているとの誤報を聞き、一時的に近くの自治会館に自主避難して、被災した。災害時における正確な情報伝達の重要性が痛感される。また、時間30mmを超えるような豪雨状態では、山地部では避難途中に土石流に巻き込まれる可能性もあるので、早めの避難が必要である。

土石流が発生した溪流は、土石流危険溪流の指定を受けている。被災した自治会館は、溪流の出口における土石流の襲来、橋に流木などが補足されることによる河道の閉塞、川岸の氾濫危険区域の3重の被災要因を持っていた。

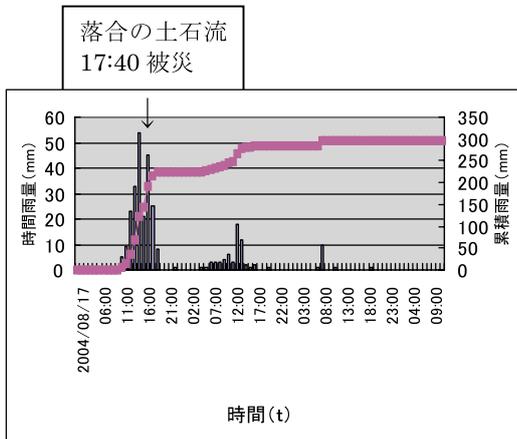


図5 台風15号による大野原町五郷の雨量 (香川県の雨量観測データを編集)

表2 平成16年に香川県西部に土砂災害を発生させた台風 (香川県の雨量データを編集)

台風	15号	21号	23号
日時	8/17～18	9/29～30	10/19～20
累積雨量	297mm (大野原町五郷地区)	249mm (大野原町五郷地区)	256mm (大野原町五郷地区)
最大雨量強度 (3時間)	120mm (15:00～18:00)	152mm (18:00～21:00)	69mm (13:00～16:00)
最大時間雨量	54mm	65mm	30mm
土石流発生頻度	少	大多数	極少
死者 (香川県全域)	西讃5名 (5)	西讃0名 (0)	西讃0名 (11)

3. 台風21号による土砂災害

3.1 土砂災害の概要

9月29日の台風21号の通過に伴い、香川県では県西部を中心に再び土砂災害と浸水に見舞われた。大野原町五郷地区では、累計雨量が249mm、17時から18時の時間雨量は65mmに達した。この豪雨によって、香川県西部の大野原町と豊浜町を中心に、再び土砂災害と浸水被害が発生した。土石流は主として谷頭や山腹斜面から発生した崩壊によって発生し、谷沿いに流下した (図6)。

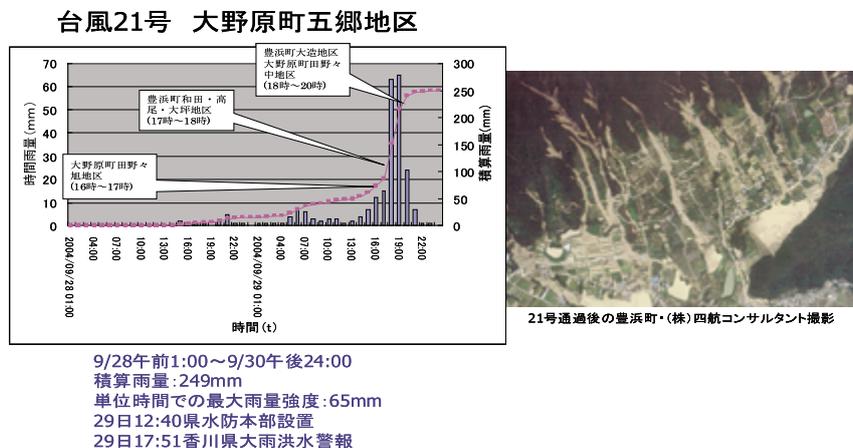


図6 台風21号による降雨状況と豊浜町和田地区の土石流発生状況



図7 台風21号による土石流
(豊浜町和田地区)



図8 台風21号による土石流によって被災した五郷小学校（大野原町）
五郷小学校は避難施設に指定。

豊浜町の予讃線箕浦駅の近くでは、土石流の土砂が線路を覆うなど、2箇所寸断された。また、豊浜町和田地区では、前回の台風15号のときと比較して、はるかに大規模な土石流が多数発生して、その土砂は果樹園や田畑を越え、住宅地に達した（図7）。大野原町五郷地区においても、台風21号の豪雨によって、新たに土石流と崩壊が多数発生し、県道が通行止めによって4集落が孤立した。また、大規模な土石流の一つは、避難所のある五郷小学校の運動場を土石と流木で埋め尽くした（図8）。

3.2 被災要因

観測された香川県西部における台風21号の積算雨量は、15号と同程度かやや小さい。しかしながら、台風21号によって発生した表層崩壊および土石流は、はるかに量が多く、規模が大きい。これには、台風21号による大野原町五郷の積算雨量は台風15号、23号と比較して少ない249mmであったが18時～20時の間に152mmという集中的な降雨であり、土石流は主として降雨強度が大きい時期に発生している（図6、表2）。

また、土石流の発生源となった崩壊は地表水が集中する谷地形で多く発生している。豊浜町の梨園は、土石流の堆積した土石流扇状地の緩斜面を利用している。このため、土石流の襲来は避けられない。

4. 台風23号の土砂災害

4.1 土砂災害の概要

台風23号では、香川県東部に記録的に集中豪雨をもたらした。東かがわ市五明の日下峠雨量観測局では、10月19日～20日の累計雨量が674mmに達し、20日14～15時の時間雨量は116mmを記録した。また同地点の20日11～13時の4時間降雨量は390mmに達した（図9）。香川県東部山間部における雨量観測局も、軒並み400mmを超える累計雨量を記録し（図9）、県内の多くの地域で膨大な数の崩壊、土石流と流木の流出が発生し、住宅、農地、道路、ため池、河川構造物などに甚大な被害が発生した（図11～16）。斜面上の盛土が流出した箇所では、3月10日現在も通行止めのところもある（図16）。また、大量の土砂の流出によって下河床が上昇し、氾濫の危険性が增大している（図12）。

さぬき市大川町森行では、大崩壊によって大規模な土石流が発生し（図11）、人命を奪うと共に、下流に大量の土砂を堆積させた（図12）。この土石流は約14時に発生している。また、東かがわ市日

下では、崩壊の発生を示唆する断水が12:30頃から始まり、13:30頃に大きな土石流が発生している。いずれも、雨量強度が大きい時期と一致している（図9）。

梅檀川上流のさぬき市門入では、左岸斜面から発生した大崩壊の土砂が梅檀川をせき止め、決壊した土砂が土石流となって一気に下流を襲い、民家を押し流し、2名の命を奪った（図13、14）。この大規模な崩壊は、豪雨のピークが過ぎた15時過ぎの発生している（図10）。累積降雨量が大きい場合には、雨量強度の大きい時期が過ぎてから、大規模な崩壊が発生することがある。

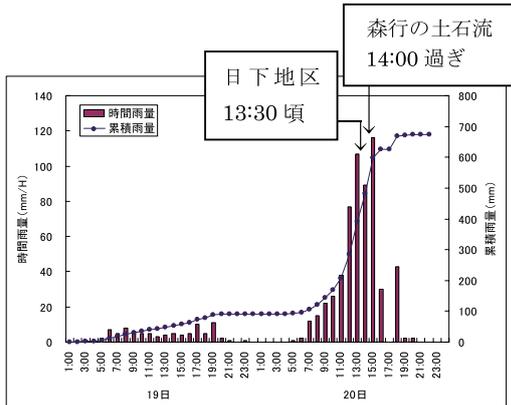


図9 台風23号による降雨状況（香川県日下峠雨量観測所：東かがわ市）

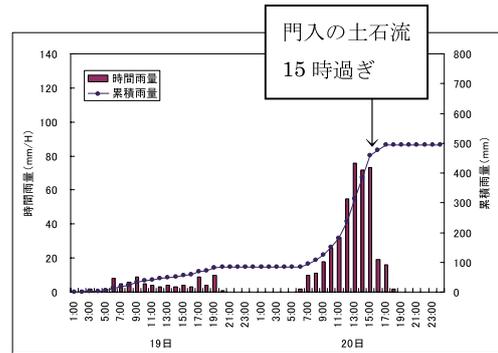


図10 台風23号による降雨状況（香川県さぬき市門入雨量観測所）



図11 さぬき市大川町森行の土石流



図12 土砂で埋まった東かがわ市水主コミュニティセンター



図13 門入ダム上流で梅檀川を閉塞させた崩壊（さぬき市寒川町）



図14 梅檀川を約1.8km流下した大規模土石流（寒川町門入ブリッジ）



図15 土石流に襲われた五明ダム管理所



図16 盛土の崩壊によって平成17年3月現在通も行止めが続く国道377号線（東かがわ市入野山）

4.3 被災要因

当地区の崩壊の大部分は、記録的な降雨が原因となり、地表水が集中する谷地形（谷頭部）において、表層のまさ土と岩盤の境界がすべり面となって発生している。香川県の丘陵を構成する花崗岩類が風化して形成されたまさ土は、降雨によって表層崩壊が発生しやすい地盤である。崩壊は、植生状態にかかわらず発生しており、またある植生の斜面が一面に崩壊しているのではないので、植生が主たる要因ではない。しかし、皆伐に近い斜面や作業道などの切土・盛土箇所では、崩壊発生密度が高くなっている。したがって、森林管理の状態によっては、崩壊や土石流の発生しやすい地区がある。

東讃では、台風10号によって与田山で277mmの累計雨量が観測されているが、この地域の花崗岩斜面およびその南の讃岐山脈を構成する砂岩・頁岩互層和泉層群では、顕著な斜面崩壊および土石流は発生しなかった。しかし、また、台風23号の豪雨によっても、東かがわ市引田町千足では、501mmの累計雨量が観測されているが、和泉層群からなる讃岐山脈では、顕著な斜面崩壊および土石流は発生しなかった。昭和51年台風17号災害によって、崩壊予備物質が除去されたため、土石流の発生が少なかったのか、今後の研究課題である。

5. 豊浜町・大野原町の崩壊と土石流

5.1 地形・地質の概要

当地域は、香川県の西端に位置し、讃岐山脈の西端部に当たる（図2）。当地域は、標高495.6mの高尾山を中心とした東北東－西南西方向の尾根が豊浜町（北側）と大野原町（南側）の分水嶺を形成している。豊浜町の和田～大坪地区では、山地斜面の北側に土石流が堆積している緩斜面が、果樹園として利用されている。

讃岐山脈は白亜紀後期の和泉層群から構成され、当地域では主として砂岩勝ち砂岩頁岩が広く分布している。当地域における砂岩頁岩互層の層理面は、一般にN50°-60° Eの走向で、南へ30°-50°傾斜している。

沢沿いでは、風化の受けていない新鮮な岩盤が露出しているが、斜面では風化によって表層1m程度は風化土が形成されている。また砂岩は、風化によってコアストーンとなっている。

5.2 調査方法

まず豊浜町・大野原町の過去の災害事例を調査し、台風15号・21号・23号による香川県の降雨状況

及び被害状況を調査した。次に豊浜町及び大野原町における土石流の分布をオルソ画像航空写真によって判読し、崩壊地分布図を作成した（図17、18）。分布図をもとに現地踏査、土石流の地形計測を行って崩壊の規模を把握した。また、崩壊源及び堆積域から試料を採取し、土質試験を行って崩壊土砂の強度を調べた。さらに現地での聞き取り調査より土石流発生当時の状況について調査を行った。以上を総合し、豊浜町及び大野原町において発生した土石流の発生・停止のメカニズムを考察した。

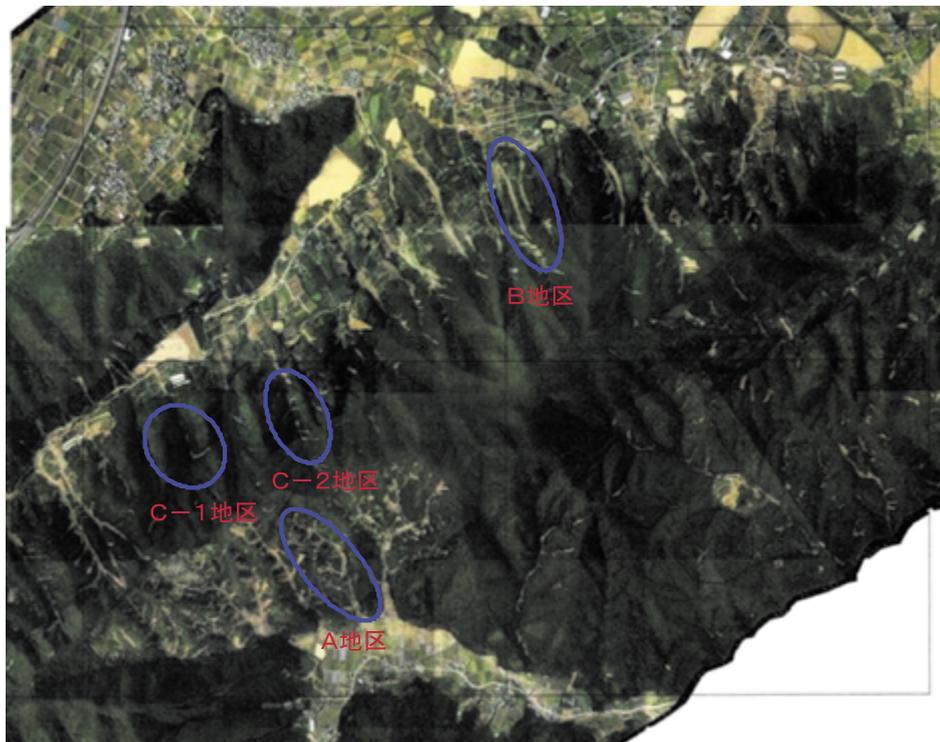


図17 台風21号通過後の豊浜町・大野原町の航空写真オルソ画像（四航コンサルタント撮影）

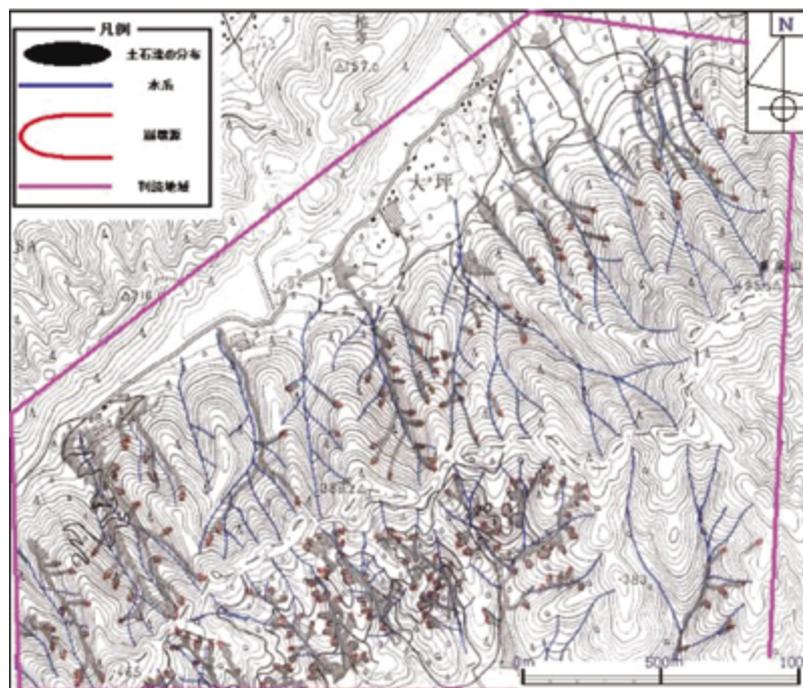


図18 航空写真判読による崩壊・土石流の分布

5.3 調査結果

大野原町および豊浜町において51箇所の崩壊地を調査した結果は、以下のとおりである。

- (1) 土石流の発生源となった崩壊の多く（62.5%）は、地表水が集中する溪流の谷頭や斜面の谷地形から発生している（図18、19）。
- (2) 崩壊の約80%は、平均深度0.5~1.0mの表層崩壊が多く（図20）、すべり面の大部分は基盤岩（和泉層群砂岩優勢砂岩頁岩互層）と風化土との境界と一致している（図21）。
- (3) 山腹崩壊によるせき止め決壊型の土石流もあるが、大半の土石流は谷地形で発生した谷頭崩壊型の土石流である。
- (4) 崩壊は、崩壊前の斜面傾斜35~45°で多く発生し（図22）、傾斜3~5°で停止している。また、竹林やため池などで停止した例も確認されている。見かけの摩擦角は12~20°である。
- (5) 崩壊跡の湧水跡・ガリ浸食から、崩壊発生時には大量の湧水があったと推察される（図23）。

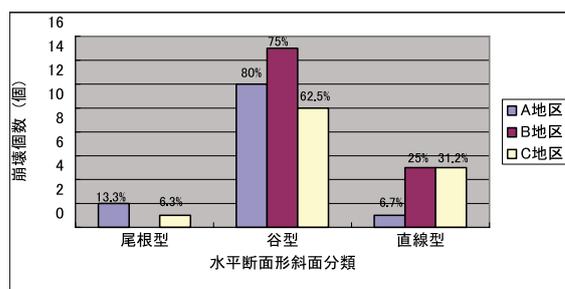


図19 地形分類による崩壊個数と百分率

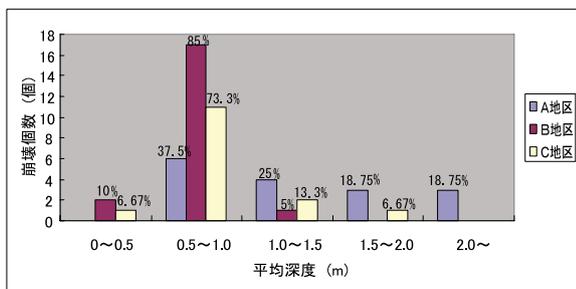


図20 平均深度と崩壊個数と百分率

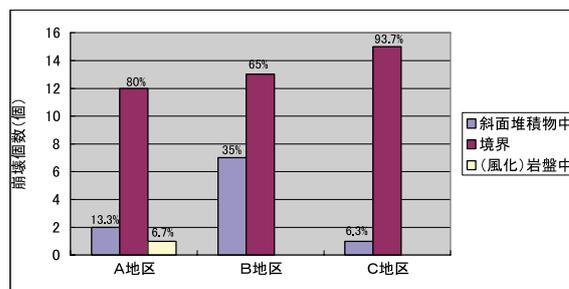


図21 すべり面の位置と崩壊個数・百分率

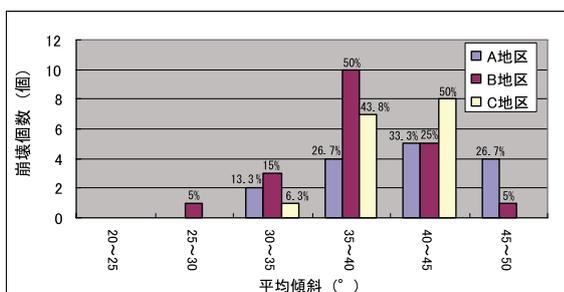


図22 斜面傾斜と崩壊の関係

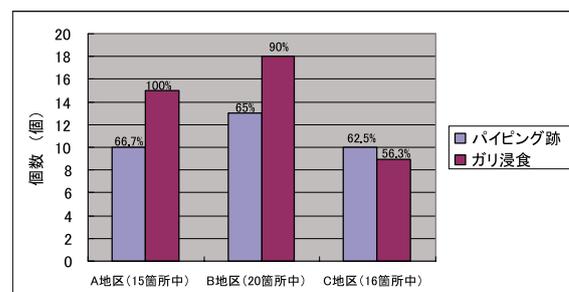


図23 斜面の出水状況

5.4 発生要因

観測された香川県西部における台風21号の積算雨量は、15号と同程度かやや小さい。しかしながら、台風21号によって発生した表層崩壊および土石流は、はるかに量が多く、規模が大きい。これには、台風21号による大野原町五郷の積算雨量は台風15号、23号と比較して少ない249mmであったが18時~20時の間に152mmという集中的な降雨であり、土石流は主として降雨強度が大きい時期に発生している（図6、表2）。また、土石流の発生源となった崩壊は地表水が集中する谷地形で多く発生していることから、降雨による地下水位の上昇が引き金になって、岩盤と風化土の境界がすべり面となって発生している。崩壊は、植生状態にかかわらず発生しており、またある植生の斜面が一面に崩壊しているのではないので、植生が主たる要因ではない。しかし、果樹園や作業道などの切土・盛

土箇所では、崩壊発生密度が高くなっている。

6. さぬき市大川町森行地区の崩壊と土石流

6.1 地形・地質概要

当地域は、香川県東部に位置し、讃岐山脈東端に当たる（図2）。当地域は、讃岐山脈北側の領家帯花崗岩に属する花崗岩類からなっており、標高559.7mの笠ヶ峰を中心とした標高100～300mの丘陵性の山地となっている。森行地区は、与田川水系の笠松川沿いにあり、領家帯花崗岩類を基質として過去の土石流堆積物により形成された緩斜面が集落や棚田として利用されている。沢沿いには、斜面に1m程度のまさ土が堆積している。また当地域には、東北東－西南西方向のリニアメントが分布している。

6.2 調査方法

航空写真オルソ画像（図24）の判読により崩壊箇所を抽出し、植生別に選定した造林地、ヒノキの人工林（樹齢の違いにより2地区）、混合林の4地区68箇所を対象に現地調査を実施した。現地調査は、崩壊調査と植生調査を並行して行った。崩壊調査では、踏査や測量によって崩壊の規模や地盤構造を調べると共に、地形や地下水の状況について調べた。また、現地で林床植生についても調査し、得られたデータを総合して崩壊との関係を検討した。



図24 台風23号通過後のさぬき市大川町森行地区の航空写真オルソ画像
(四航コンサルタント撮影)

6.3 調査結果

森行地区では、航空写真判読を行って崩壊箇所を抽出し、その中で植生別に選定した4地区68箇所を対象に現地調査を実施した(図25)。その結果は以下のとおりである。

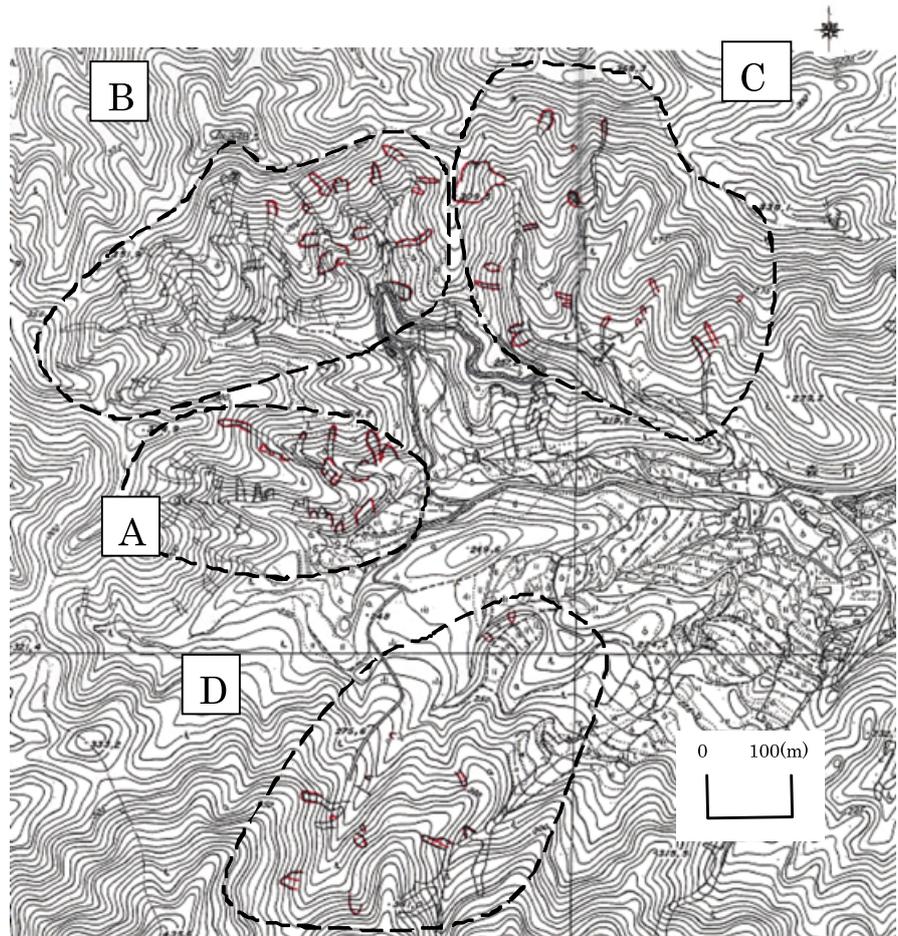


図25 さぬき市大川町森行地区 崩壊地分布図

- (1) 森行地区における土石流は、全体的として集水域となる谷地形において崩壊が多く発生している(図26)。また、森行地区の特徴として、人工改変による小段や法面の造成地が崩れるケースが多く見られる(図27)。
- (2) 崩壊の約80%は、平均深度0.5~1.0mの表層崩壊が多く(図28)、すべり面の大部分は基盤岩(花崗岩)と風化土(まさ土)との境界と一致している(図29)。
- (3) 山腹崩壊によるせき止め決壊型の土石流もあるが、大半の土石流は谷地形で発生した谷頭崩壊型の土石流である。
- (4) 植生の違いによって、崩壊深度に違いが見られた。B、C地区では斜面傾斜が大きくなるにつれて崩壊数が増加しているが、A、D地区においては40°前後の崩壊数が最も多く、それ以降は減少する傾向が見られた(図30)。
- (5) 大部分の崩壊は岩盤と斜面堆積物(風化土)との境界から発生している。
- (6) 崩壊跡の湧水跡・ガリ浸食から、崩壊発生時には大量の湧水があったと推察される(図31)。

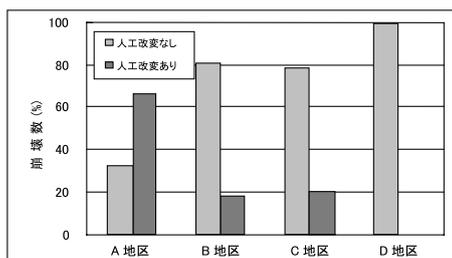


図26 地形分類による崩壊発生率 (さぬき市大川町森行)

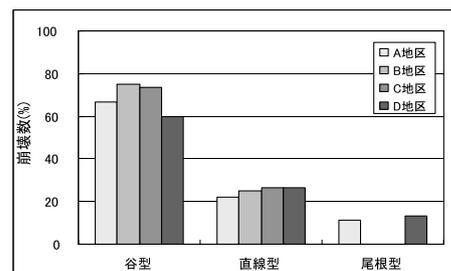


図27 崩壊箇所における人工改変の有無 (さぬき市大川町森行)