

2005年福岡県西方沖の地震の特徴と課題

大塚 久哲

Hisanori OTSUKA

九州大学大学院工学研究院建設デザイン部門

本文は、2005年福岡県西方沖地震による教訓と対策への提言を述べた上で、まず、10年前の阪神大震災の教訓が生かされた事例として、都市高速道路に甚大な被害が生じなかったことと、都市ガスが供給停止に至らなかったことを取り上げ、その理由を考察している。併せて、唯一大きく被災した曲線高架橋の被災原因究明を目的とした解析の途中経過も述べている。次に、都市直下に不整形地盤が存在する影響を、地震動の増幅現象、建築物や水道管の被災の局所化、建築物 杭基礎 地盤の一体応答解析結果などによって明らかにしている。最後に、最も被災の大きかった玄界島の被災状況の紹介と、復興計画と現状について紹介している。

1. 福岡県西方沖地震での教訓と対策提言

2005年3月20日、福岡県西方沖（福岡市の北西約27kmの玄界灘）を震源とする気象庁マグニチュード7.0の地震が発生し、福岡市中央区・東区と前原市などで震度6弱、多くの地点で震度5強の揺れを記録し、倒壊したブロック塀の下敷きとなって福岡市博多区で一名が死亡した。

この地震における教訓と今後の対策として、著者は以下のことを挙げている^{1), 2), 3)}。

- (1) 震源域に最も近かった玄界島では、強い地震動の他に、石積み擁壁・盛土の崩壊が原因となって多数の住宅被害が生じた。このことから、急傾斜地に建つ住家の地震に対する安全対策が必要であること。
 - (2) 志賀島東側斜面で発生したような大規模斜面崩壊に対して、早期復旧技術の開発が必要であること。
 - (3) ビルの窓ガラスの落下、およびブロック塀の倒壊による死傷者が発生した。これまでの地震で繰り返されてきた悲劇に終止符を打つべく有効な対策を講ずべきこと。
 - (4) 港湾施設に多くの物流をゆだねているわが国において、当該施設の耐震性のさらなる向上（例えば耐震岸壁などへの改良や液状化対策）が望まれること。
 - (5) 曲線橋など特殊形状の橋梁は、動的解析による耐震安全性の検討が必要なこと。
 - (6) 水道の給配水管の被害が予測される硬質地盤と軟質地盤の境目の地域においては、当該管路の耐震化を行っていくこと。
 - (7) 地層構成（不整形地盤）による地震動増幅の認識と、設計への考慮に関し、例えば傾斜地盤の程度による増幅係数等の提案など、今後の検討が必要である。
 - (8) 地震による被害を低減させるために、地震被害の経験のない地域の住民への、被害体験の発信が必要なこと。
- これらに関しては、被害の特徴に着目して、本地震

から学ぶべきことと、施策への提言という意味で記したものである。本稿では被害が生じなかった点にも着目して、1995年の阪神大震災を教訓として行ってきた努力がどのように功を奏したのかを紹介し、さらに未だ不十分な点、今後の課題についても見ていくことにする。

2. 阪神大震災の教訓が生かされた事例

(1) 都市高速道路に関して

a) 都市高速に甚大な被害が生じなかった理由

福岡北九州都市高速道路公社管理の橋梁中、本地震により被災した箇所は、25カ所に及んでいる。ただし、その内訳を見ると、壁高欄7カ所、舗装部5カ所、伸縮継手5カ所、支承部1カ所で、支承を除く被害はいずれも軽微であった。

1995年阪神大震災の教訓により、1980年の設計基準（道路橋示方書）より前の設計基準を用いて設計された単柱橋脚は、1996年版示方書に適合するように耐震補強を行うこととなっていたが、幸い福北公社における橋脚は耐震補強済みであった。天神5丁目1-23に設置されている防災科学技術研究所の強震ネットワーク（K-NET）による福岡の地震動観測結果（地表面）の最大値は南北方向277gal（ cm/sec^2 、ガル）であり、都市高速1号線のある博多湾岸地域ではおおよそのレベルで揺れたと

表 1 種地盤における設計地震動
(福岡では、この数値の7割を使用する)

地震動のレベル	地盤震度(加速度:gal)	設計の考え方
1	0.24(240)	弾性設計
2(タイプ1)	0.4(400)	弾塑性設計
2(タイプ2)	0.6(600)	弾塑性設計

考えられる。この値は表 1 に見るように、レベル 1 地震動は超えており、レベル 2 のタイプ に近い地震動であったといえるが、耐震補強がなされていたため、橋脚には被害が生じなかった。上部構造の落橋防止構造等については平成 17 年度完成予定で、当該地区は未施工区間であったことから、曲線橋の支承部に被害が生じた。

b) 曲線高架橋の支承部の被災

被災した可動沓を有する 4 径間連続曲線鋼箱桁橋を写真 - 1 に示す。この橋は曲線半径が小さく、かつ縦断及び横断勾配を有する橋梁である。高所側の桁の上流側（写真 1 向かって右側）の沓において、内部に挿入されている 2 個のピンローラーが破断し、破断したローラー（写真 2）の一部が沓のサイドブロックを破壊して飛出し、下り線（低所側）の路上に落下した。応急補修としては、上流側のピンが破断した沓についてはローラー位置に鋼板を挿入し（写真 3）、サイドブロックのみが破損した下流側の沓については鋼ブロックを代替として配置した。

図 1 に当該曲線橋および被災支承の位置関係を示す。図 2 には K-net 福岡の観測記録から作成したオービットを示す。これらの図から、被災した支承は連続桁の中間部にあり、地震動は南北方向が卓越していることがわ

かる。したがって、破断したピンローラーは、南北方向の大きな揺れにより、図 3 に示すように支承の上下部間にせん断力（一対の反対方向の力）が作用し、ピンローラーのくびれ部が引張り破断したものと推定される。

このように、福岡地震の際、都市高速道路中の曲線高架橋の金属支承が壊れるという被害が発生したが、曲線橋における支承の耐震性に着目した検討事例はあまり見あたらない。そこで著者らは、3 径間の直線橋と曲率半径の異なる 3 種類の曲線橋に対して、桁と支承からなるモデル（橋脚は考慮しない）を用いて線形動的解析を行い、主桁の曲率や支承の種類が支承反力や桁の断面力に与える影響に関して基礎的な検討を行った⁴⁾。その結果、橋軸直角方向（法線方向）に加振した場合の中間支点の支承水平反力は、交角が大きくなるに伴い内曲向きの支承反力が大きくなることが知られたが、被害を説明できる十分な知見をまだ得ておらず、引き続き検討中である。



写真 - 1 支承が破損した曲線桁橋



写真 2 破断したピンローラー



写真 3 応急復旧後の支承部



図 1 曲線橋と被災支承部（矢印）の位置関係

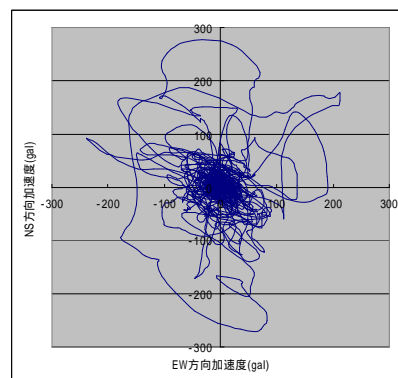


図 2 k-net 福岡の観測加速度のオービット

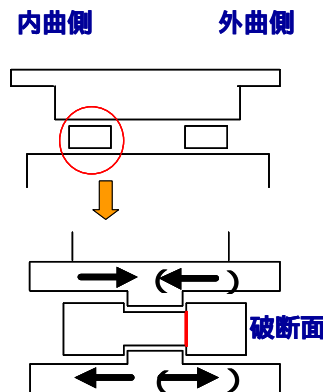


図 3 支承の破断時に作用した力（推定）

(2)都市ガスの事例

西部ガス(株)は、福岡市東区にある福岡導管保安センターの保安司令室において、地震発生30分後に、ガス供給は停止しないと判断したと言われている。本地震では同社が設置していた47個の地震計において最大速度44 cm/sを記録した。規則によれば、60cm/s以上で供給即時停止、30~60cm/sでは被害状況に応じて供給停止を判断するとなっていたこと、及び160カ所の圧力監視システムにおいて大きな圧力低下がなかったことから、供給を続行したとのことである。

ガス供給を一旦止めると、全てのガス栓の開閉を確認してからでないとガス供給を再開できないため、復旧に早くても10日以上はかかるとされている。例え10日間であっても都市ガスのない生活を余儀なくされた場合を考えると、改めて都市生活の有り難さと脆弱さを認識した人も多いことであろう。

今回の地震で都市ガスが供給停止にならなかったことは、特筆に値するものと考えられる。上記の保安司令室の判断を可能にしたものは何であったろうか？

1994年時点で同社の施設整備状況を見ると、圧力監視システムはゼロ、地震計は7カ所のみで、マイコン(ガス)メーターの普及率は33%であった。

マイコンメーター(以後MMと記述)とは計量機能部にマイコン機能部を取り付けたガスメーターのことで、マイコン機能部において振動とガスの圧力・流量を測定できるように、鋼球振動式感振器、圧力センサー、流量センサーとマイコンチップが内蔵されている。

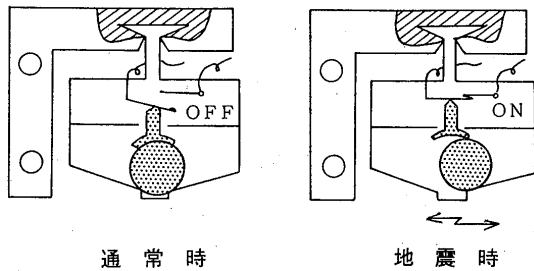


図 4 マイコンメーター内の感振器の原理

元々、1980年8月に発生した静岡駅地下街のガス爆発事故(死者15人、負傷者223人)を契機に開発されたものであるが、1995年阪神大震災の発生により、都市ガスが長期間供給停止となったため、1997年に家庭用MMの設置が法制化されて現在に至っている。図4にMM内の感振器の原理を示す。福岡地震発生時における西部ガスの体制は前述のように、地震計47カ所、圧力監視システム160カ所で、MM普及率は100%であった。MMは福岡地震において、約2800件作動したといわれており、これによってガスの圧力低下が阻止されたものと考えられる。大震災の教訓が生きた事例である。

ただし、ガスが止まった場合の復旧方法を各家庭が知らなかったため、ガス会社に問い合わせが殺到し、テレビで復旧方法のビデオを放送して、ようやく混乱が収まった。ガスメーターには復旧方法を示す紙が添えられているので、各人で簡単に復旧できるのであるが、地震前には予備知識がない市民が大半であったためと思われる。

ただし、屋外のガス漏れは166件発生しており、幸い火災には到っていないが、低圧管において旧型のガス管が2割強存在しているとのことであり、今後、地震に強

い柔軟性のあるポリエチレン製のガス管に変更していく必要がある。

3. 都市直下に不整形地盤が存在する影響

(1) 福岡市地下の傾斜地盤

前述のK-NET福岡による地表面加速度の最大値は南北方向277ガル、東西方向239ガルであったのに対し、大名2丁目4-12の(株)建設技術研究所(免震建物)の地表面の最大加速度は南北方向489ガル、東西方向310ガルであった。両地震波の加速度応答スペクトルの違いを見ると図5のようであり、構造物に対する影響度が異なることは明らかである。わずかに1km強の隔たりしかない両地点の地震動がこれほど大きく異なるのは、図6に示すように大名・今泉地区が傾斜地盤の直上にあることが理由として考えられる。すなわち、不整形地盤の影響による地震動の増幅や、地表地盤の固有周期との共振によって、地表地震動がある特定の地域において大きくなったと推定される。

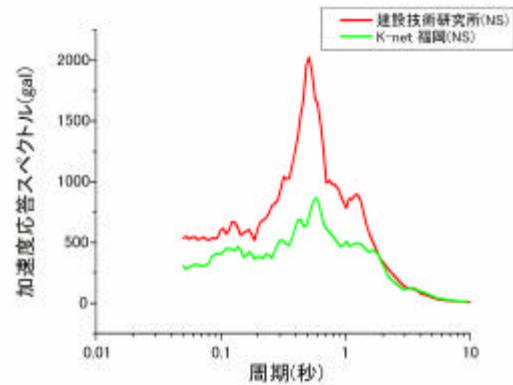


図 - 5 加速度応答スペクトルの比較

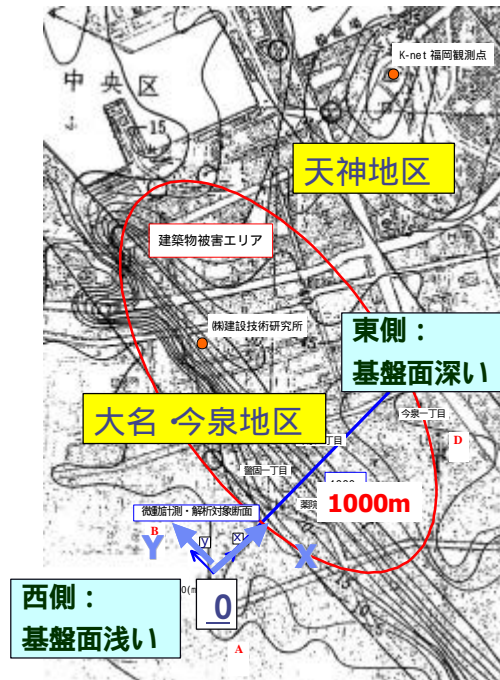


図 - 6 基盤等高線の分布と建築物被災エリア

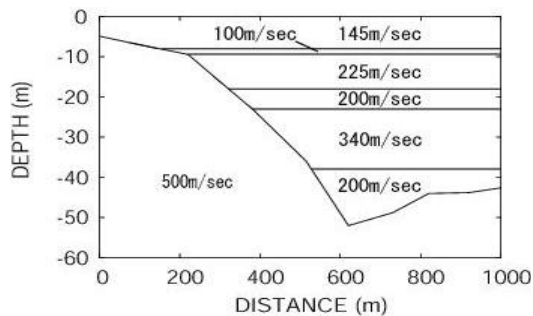


図 - 7 地盤モデルとせん断波速度

基盤面の深さを基盤等高線⁵⁾より読み取り、地盤のS波速度を土質柱状図や著者らが行った微動計測結果から推定すると、図 - 7 のような解析断面を想定できる。

(2) 傾斜地盤における被災例

傾斜地盤の地震動の大きさに呼応して、この地区の建築物の被災の大きさが目立った。図 6 に示した楕円形は大まかな被災の大きかった地域を示す。この域では写真 4, 5 に示すような新旧の建物が被災を受けた。また、図 - 8 は、福岡市内における水道管の被災箇所を示すが、不整形地盤上で被害が集中していることがわかる。



写真 4 ピロティ形式の5階建てアパート（竣工1966年）の1階柱のせん断破壊



写真 - 5 新しいマンションの外壁のせん断亀裂

また、この地盤に場所打ちRC杭（5本杭、杭間隔は5m）、フーチング、7階建てのRC建物を任意位置に設置して建物の応答と基礎杭の応答を計算した⁶⁾（図 - 9）。入力地震動は、建設技術研究所の地下65m地点で観測された基盤波（E波 + F波）から、1次元等価線形解析によって抽出したE波を使用した（基盤傾斜方向の成分）。建物2階での応答塑性率を示した図 - 10 によると地表面加速度が大きい水平640m地点で、上部構造物の塑性率も大きくなっている。また、図 - 11 に示す杭の最

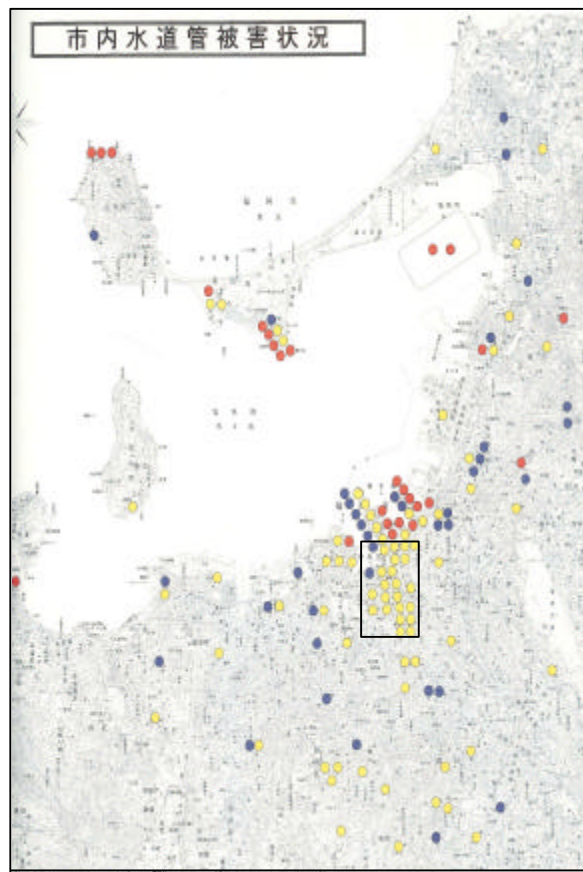


図 8 福岡市内の水道管被害箇所（枠囲みの地区は図6の地図に対応）

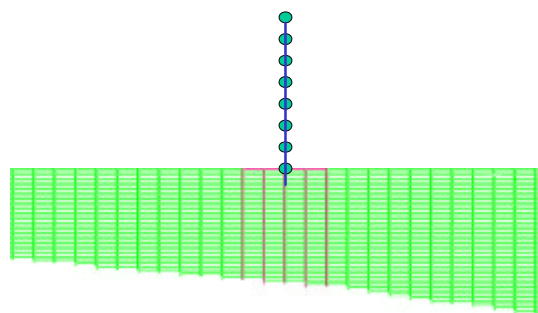


図 9 傾斜地盤・杭基礎構造物のモデル化

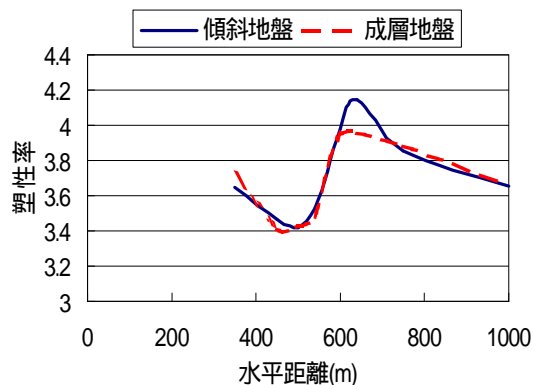


図 - 10 構造物位置の違いによる建物2階の応答塑性率の変化

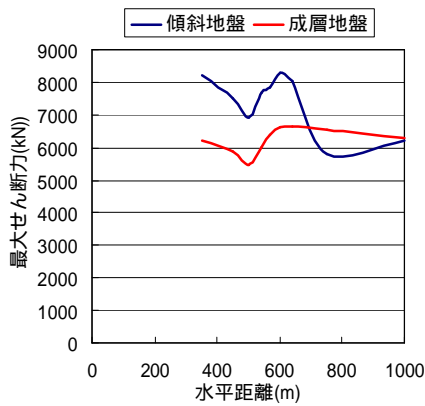


図 - 11 構造物位置の違いによる左端杭の最大せん断力の変化

大せん断力については、杭の長さの違いがある場合、短い杭の方がせん断力を多く受け持つため、左端側の杭のせん断力が成層地盤のせん断力より大きくなる。

福岡県西方沖地震で基盤面が傾斜している大名・今泉地区で被害が大きかった理由はいろいろ考えられようが、地盤の不整形性による影響も一因であると考えられ、このような地域での構造物の設計に関して今後検討すべき点は多いと思われる。

4. 玄界島の被災と復興計画

(1) 玄界島の被災の特徴

今回の地震では、震源地に近い玄界島（福岡市西区）では非常に多くの住家が損壊し、島民 706 人のうちほぼ全員が福岡市の避難所等に避難した。玄界島はお椀を伏せたような山岳地形の島であり、急傾斜地に建つ住家が多い。住家損壊の原因は強い地震動の他に、宅地造成のための石積み擁壁・盛土の崩壊が原因となっている場合が多く、急傾斜地に建つ住家の耐震安全性の確保に関する問題を露呈させた。

被災直後における家屋の応急判定において、傾斜地では 136 軒中実に 99 軒が危険・要注意に指定されており、率にして 73% の高率である。写真 - 6 は南斜面に建つ被災家屋、写真 - 7 は典型的な宅地・家屋崩壊による道路閉塞状況である。島内の水道はこのような階段状の生活道路が多く、その多くは市道認定を受けており、その下に水道管が敷設されている。階段下の埋設土の崩落に伴い、水道管の被害が発生した。ちなみに、本島には、海



写真 - 6 玄界島における被災家屋



写真 - 7 家屋・宅地崩壊による道路閉塞

底埋設管を通して上水が配水されており、その海底埋設管の被害はなかった。

(2) 玄界島の復興計画

玄界島島民は、地震発生より 1 ヶ月余経過した 2005 年 4 月 25 日から、玄界島と博多港に面した広場に建設された 2 カ所の仮設住宅地で生活している。5 月 21 日の第 1 回島民総会では集落部の大部分を根本的に復興するために土地・建物を放棄することで意見が一致し、7 月 6 日には福岡市長宛に面的整備の導入についての要望書を提出、同月 17 日の第 2 回島民総会では事業手法を「小規模住宅地区改良事業」に決定している。

これに併行して、福岡県は将来にわたる傾斜地の安全性確認のための調査と傾斜地対策委員会による審議を経て、対策工などによる安全性確保の見通しを得た。その結論を得て、現地では復興の槌音が響きだした。

住民の意向調査に基づく市の計画案によれば、図 - 12 に示すように、戸建て宅地数 50 区画、集合住宅戸数 130 戸の周辺には、新しい道路の新設や傾斜地の緑化などの対策も考えられており、以前にも増して快適な生活が行われるような配慮がなされているようである。



図 - 12 玄界島復興計画案

参考文献

- 1) 大塚：福岡県西方沖地震調査速報，土木学会誌，2005.5
- 2) 土木学会西部支部：2005 年福岡県西方沖地震被害調査報告書，2005.8
- 3) 大塚：福岡県西方沖地震調査速報，NDIC，2005.6
- 4) 山内・大塚：曲線桁橋の地震時支承反力に関する基礎的検討，平成 17 年度土木学会西部支部研究発表会，2006.3
- 5) 九州地質調査業協会発行，福岡地盤図，1981

6) 有澤・大塚・古川：福岡県西方沖地震時に地盤の不整形性が地盤-杭基礎構造物系の応答に与えた影響について，平成 17

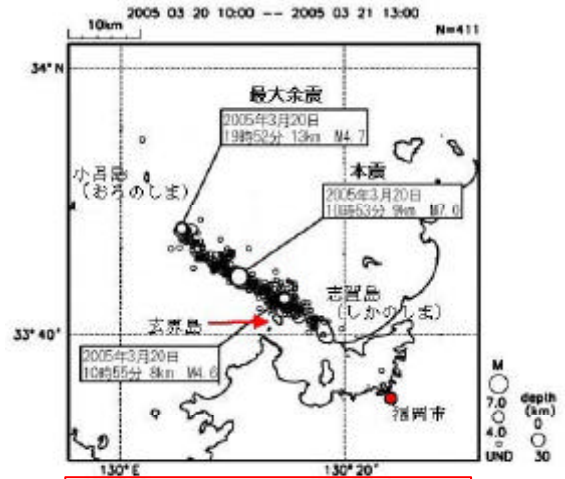
度土木学会西部支部研究発表会，2006.3



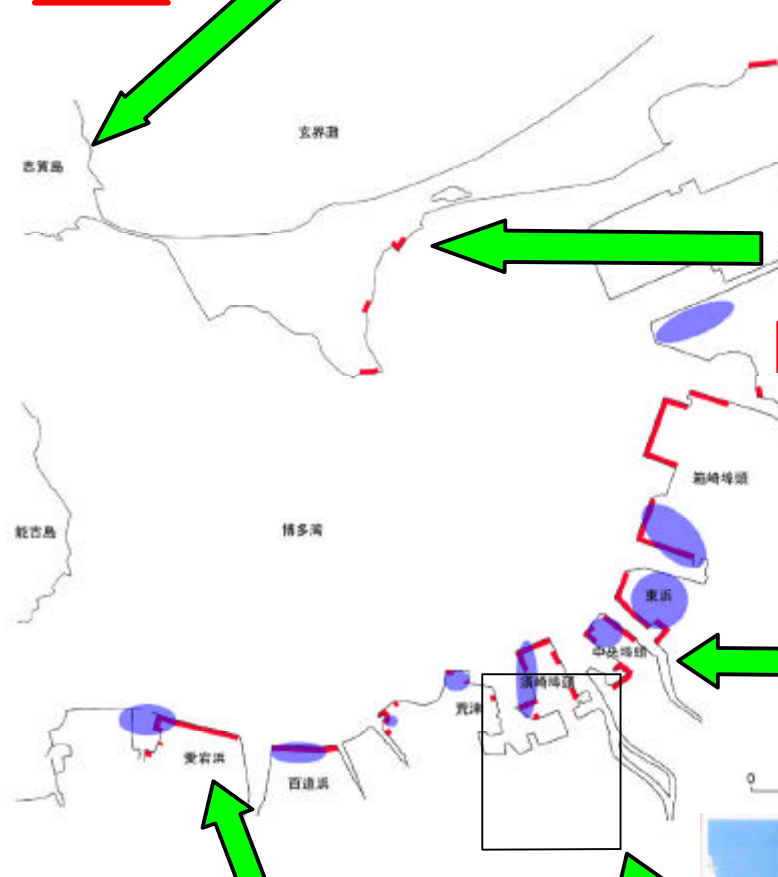
志賀島東における大規模斜面崩

陥没，沈下，亀裂等

液状化発生地域



3月21日13時現在の余震分布



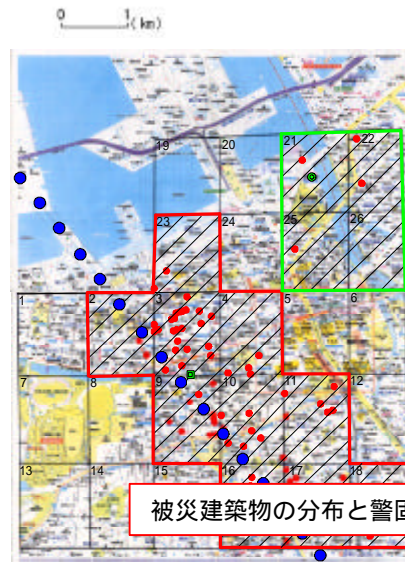
海の中道海浜公園・光と風の広場の被害



博多港施設の被害（中央埠頭）



愛宕浜海浜公園の液状化



被災建築物の分布と警固断層

付図 1 博多湾内における各種被災の分布