

(103) 平成5年釧路沖地震時の岸壁の液状化対策の効果について

運輸省港湾技術研究所 松永康男
 同上 井合 進
 運輸省第三港湾建設局 亀岡知弘

1. まえがき 平成5年1月15日午後8時6分頃、釧路沖を震源とする地震が発生した。震源位置は、北緯42度51分、東経144度23分、深さ107kmであり、地震の規模はマグニチュード7.8であった。本地震により、震央から約16kmに位置していた釧路港をはじめとして、厚岸漁港、霧多布港他、多くの港湾・漁港施設に被害が発生した¹⁾。岸壁の被害形態としては、岸壁法線のはらみ出し、目地の開き、エプロンおよび背後地盤の沈下・亀裂・陥没・段差であり、一部完全に使用不能となったものもあった。被害の主たる原因は、概ね地盤の液状化によるものと推測されるが、地震前にエプロン下部が空洞化していた可能性や地震動によるケーソンの滑動・土圧の増大など他の要因も考えられる。

釧路港では液状化対策の必要な岸壁について対策工が鋭意進められてきた(図-1a~e)。今回の地震により、液状化対策を実施した岸壁が実際の地震を被るに至ったが、無対策の岸壁と比較して被害は軽微または無被害であり液状化対策の効果が確認されることとなった。本地震の強震記録は、釧路港湾建設事務所(図-1)の敷地内に設置されている強震計により地表と基盤(GL-77m)の2層で記録された。ここでは、本記録を基にして岸壁に作用した加速度レベルの推定を行い、液状化予測・判定および液状化対策の設計時の外力条件との比較から液状化対策の効果について若干の考察を試みる。

2. 強震記録の概要¹⁾

釧路港に設置されている強震計は、平成4年10月にSMAC-B2型から更新された速度帰還型の強震計(ERS-G型)²⁾であり、その周波数特性は図-2に示す通りである。本強震計から得られた加速度時刻歴を図-3に、記録を積分して求めた変位の水平成分の軌跡を図-4に示す。また、既往の強震記録との比較を行うためSMAC型と同等の周波数特性(7.1Hzで1/2, 10Hzで1/3程度感度低下)²⁾に変換した地表水平成分の加速度時刻歴を図-5に示す。これら加速度時刻歴の最大値を表-1にまとめて示す。

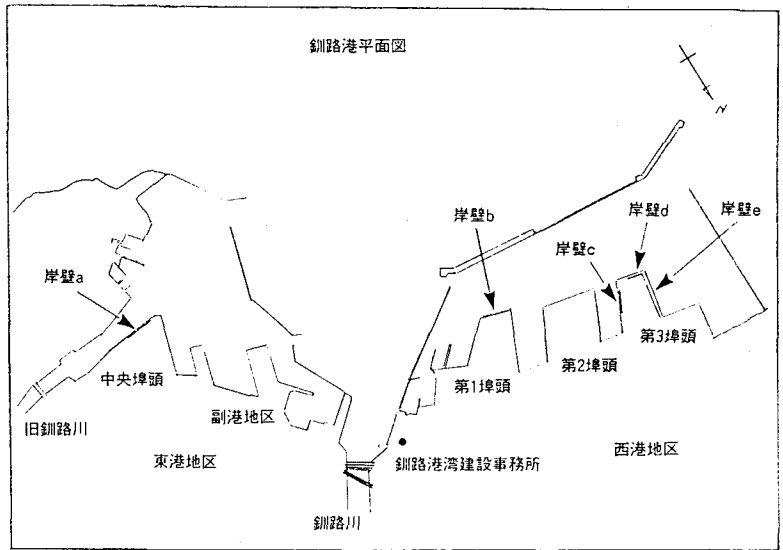


図-1 釧路港平面図

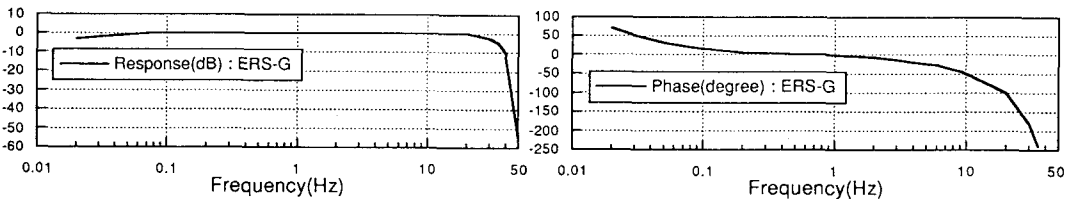


図-2 強震計の周波数特性

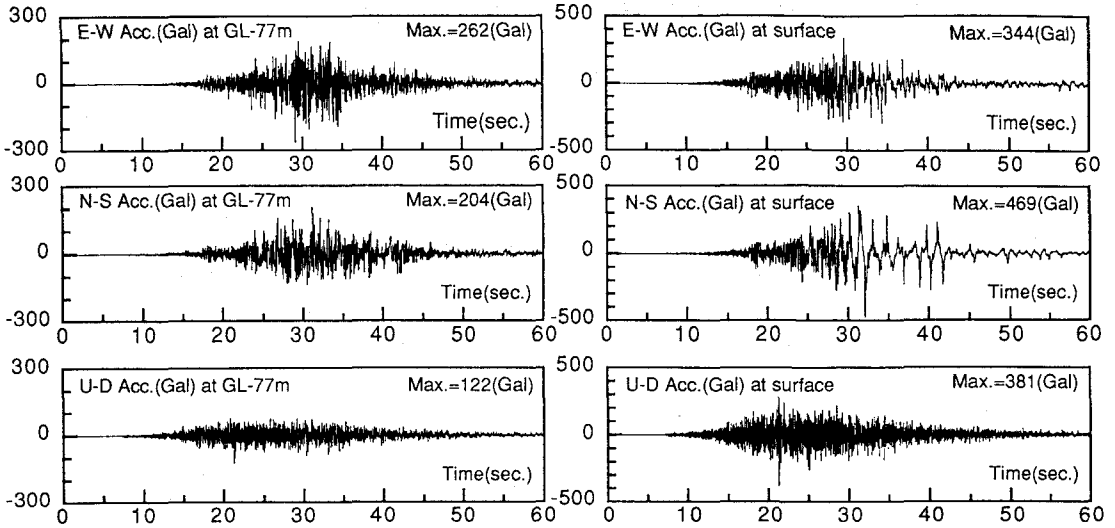


図-3 観測記録 (GL-77m, 地表)

図-2より、高周波数成分の1波のピークではあるが、地表NS成分で最大469(Gal)、基盤EW成分で最大が262(Gal)となった。SMACと等価な記録でも地表のNS成分で315(Gal)と、1968年十勝沖地震時に八戸港で観測された強震記録³⁾のNS成分の最大値235(Gal)より大きいものとなった。表-1に示す通り、観測記録の最大加速度とSMACと等価な記録の最大加速度の比は、水平成分で1.4倍程度、鉛直成分では基盤で2.4倍、地表で4.2倍となっており、上下動成分で

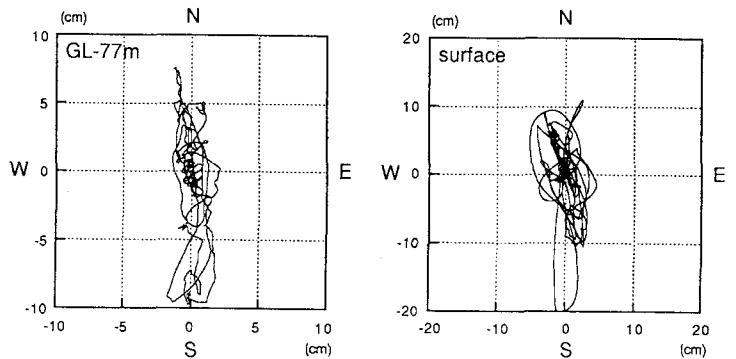


図-4 変位の軌跡 (GL-77m, 地表)

地表の方が高周波数成分の割合が多い。また、基盤に対する地表加速度の増幅は1.3~3.1倍となるとともに、SMACと等価な記録では上下動成分の最大加速度が水平成分の1/3程度となった。

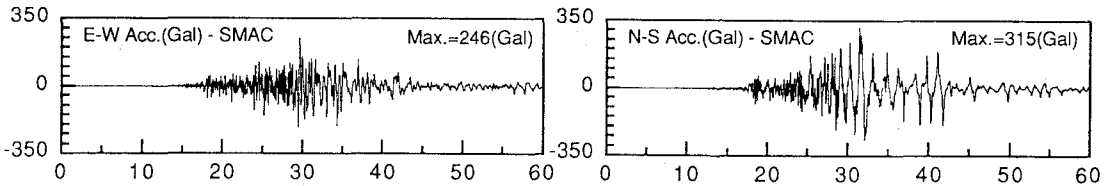


図-5 SMAC型の強震計の特性と等価な変換記録

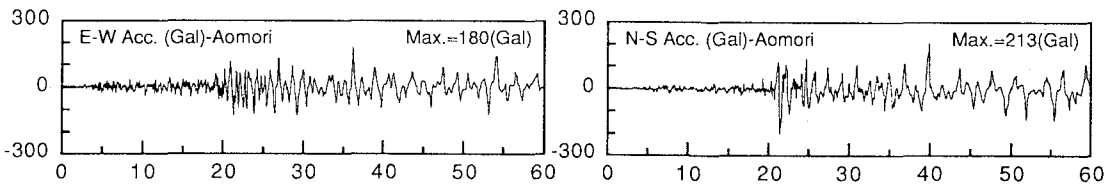


図-6 1968年十勝沖地震時の青森港での記録

地表の加速度時刻歴では、約30秒以後の記録の周期が前半部分に比べ明らかに長いものとなっている。図-6に示す記録は、1968年十勝沖地震時の青森港での強震記録(SMAC)⁹⁾であるが、青森での記録の方が周期も長く一定しており、周辺地盤でかなりの噴砂・液状化現象が確認されているのに対し、釧路での記録は加速度振幅が大きく、高周波数成分を多く含んでいるとともに観測地点付近では噴砂などが全く確認されていないこと、図-7に示す観測地点のN値の分布から表層地盤のN値は地下水面(GL-2m)以下で15以上であることから、ある程度の地盤の軟化は起こっているものの液状化までには至っていないものと考えられる。また、30秒以後の記録では、NS成分の方がEW成分より周期が長くなっているが、フリス¹⁰⁾から基盤ではEW成分よりNS成分に1Hz以下の周波数成分が多く含まれていること、および変位の軌跡からEW方向に比べNS方向に変位が卓越しているために、NS方向での変形(せん断ひずみ)がより大きくなり、EW方向に比べてNS方向の地盤の軟化に大きな影響を与えたものと考えられる。また、伝達関数¹¹⁾からは両成分とも1Hz弱の所にピークが現れており、EW成分においてもNS成分と同様に表層地盤の影響を受けていることが分かる。

3. 基盤での最大加速度 港湾の技術上の基準・同解説⁴⁾では、基盤で想定される最大加速度を設定し、等価線形手法による地震応答解析結果から得られた地盤の各層でのせん断応力、有効上載圧力および地盤の粒度・N値から液状化の予測・判定を行っている。基盤に設定される最大加速度は、主にSMAC型強震計から得られた記録を基にして取りまとめられたものであるため、今回得られた強震記録との比較においても同記録をSMAC型と等価な記録に変換したもので比較する。

液状化予測の際に釧路港の基盤で設定された最大加速度は2Eで250(Gal)、基盤の深さは岸壁背後で25~40m程度となっている。図-7に示す観測地点のN値分布では、GL-9m付近から50以上となり、それ以深ではN値50以上の層とN値が5~20程度の層が互層をなしGL-51m以深ではほぼN値50以上と基盤に相当する層となっている。一方、岸壁位置での標準貫入試験では、通常N値50以上の層がある程度続く位置をもって試験を終了することを考えた場合、GL-9m以深のように一部にN値30程度の層を含むものの、N値50以上の層が互層となって10m以上続いている地点を液状化予測時の基盤に相当すると考えることもできる。そこで液状化予測時の基盤での最大加速度の推定では、地表での観測記録を基に上方からGL-9m地点での2E波を推定する場合と、GL-77mでの観測記録を基に下方からGL-51m地点2E波を推定する場合の2つのケースを考える。

各々の基盤で等価線形手法より計算された2E波の最大値を表-2に示す。基盤の位置が異なるにも関わらず両者とも最大で250(Gal)程度と同程度の値になった。表中には水平2成分の合成記録の最大値を合わせて示しているが両者とも280(Gal)程度となった。解析手法、モデル化、基盤の設定等の種々の問題を含んでいると思われるが、上記の結果から岸壁の基盤に相当する層では2E波で250(Gal)程度が作用したのではないかと考えられ、液状化予測時と同程度の最大加速度が基盤に作用したという結果になった。また、液状化予測に用いた八戸NS波と観測記録の地表NS成分では、どちらも1Hz程度の所にピークをもつ周波数特性となっており、地表のNS成分を用いた場合については入力地震動の違いによる影響は少ないものと判断される。これらの結果から、液状化予測時および液状化対策の設計時の外力条件と同程度の地震力を岸壁および地盤が受けたものと判断される。

表-1 記録の最大加速度

位置	成分	最大加速度(Gal)		A/B
		観測記録:A	SMAC等価:B	
地表	EW	344 (1.3)	246 (1.3)	1.4
地表	NS	469 (2.3)	315 (2.0)	1.5
地表	UD	382 (3.1)	91 (1.8)	4.2
GL-77m	EW	262	185	1.4
GL-77m	NS	204	155	1.3
GL-77m	UD	122	50	2.4

() 内の数値は、基盤に対する地表の加速度の増幅率

表-2 基盤での最大加速度の推定値

基盤設定位置	入射位置	成分	最大加速度(2E)
GL-9m	地表	EW	190(Gal)
GL-9m	地表	NS	250(Gal)
GL-9m	—	合成	283(Gal)
GL-51m	GL-77m	EW	246(Gal)
GL-51m	GL-77m	NS	226(Gal)
GL-51m	—	合成	285(Gal)

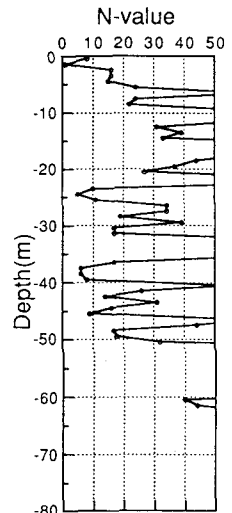


図-7 N値の分布

4. 液状化対策の効果 図-1 a～eに液状化対策を施した岸壁位置を示す。また、図-8～図-10には岸壁b、d、eの対策後の断面図を示す。岸壁aは水中スラット構造でグラベルドレーン（以下G.D.）により改良され、被害としてはエプロンと背後地との間に2～3cmの段差が生じ、上屋の基部に数cmの開きが生じた。岸壁bの背後はG.D.およびサンドコンパクション（以下S.C.P.）により改良され、被害としては背後地に一部クラックが発見されたがほとんど無被害と言えるものであった。岸壁cはS.C.P.（一部既設の埋設管部にG.D.）で改良され、被害としては法線が10cm程度出た他、エプロンが未舗装であったため背後地の沈下によりケツの後面位置から地表面が沈下を起こしていた。岸壁dはS.C.P.で改良され、被害としては法線が10cm程度出た他、エプロンと背後地の境界で20～30cm程度の段差、ケツ背後のエプロンに沈下・亀裂および下部に空洞ができていた。岸壁eはS.C.P.のみとG.D.とS.C.P.の両方で改良されたものが存在し、被害としては岸壁dと同様のものがあり、ケツ背面の裏込め部分から対策位置までの間に被害が集中しているようである。

上記に示すように、液状化対策を実施した岸壁においても無被害のものから軽微な被害のものまで様々であるが、無対策の岸壁（液状化の発生が予期されていたが対策工が完了していなかったもの）では、法線が数十cm程度はらみ出し、目地の開き、背後地とエプロンに沈下・亀裂・段差等の被害が発生していることを考えると液状化対策としては十分に効果が発揮されたものと考えられる。また、液状化予測・判定・対策の設計時と実際の地震動が同程度の外力条件であったことを考えれば、液状化予測手法および液状化対策の設計手法についても適用性が確認されたこととなった。しかしながら、岸壁a、bと岸壁c～eの被害程度には大きな差があり、その原因について詳細な調査が今後行われる予定である。

5. まとめ 釧路港で観測された強震記録を基にして、液状化予測時に岸壁の基盤に設定した最大加速度レベルを推定した。その結果、実際の地震動レベルは液状化予測時に考慮した地震外力と同程度の外力条件となった。また、被害程度については、液状化対策を施した岸壁については軽微な被害に留まり、無対策の岸壁の被害程度よりも被害が小さかったことから液状化対策の効果を確認させるものであった。

参考文献 1)平成5年釧路沖地震被害報告，港湾技術研究所・港湾局・北海道開発局，平成5年9月。
2)例えば 倉田栄一・井合 進：港湾地域強震観測年報(1990)，港湾技研資料 No. 705, June 1991。
3)土田 肇・倉田栄一・須藤克子：1968年十勝沖地震とその余震の港湾地域における強震観測，港湾技研資料 No. 80, June 1969。 4)港湾の施設の技術上の基準・同解説，日本港湾協会，平成元年2月。

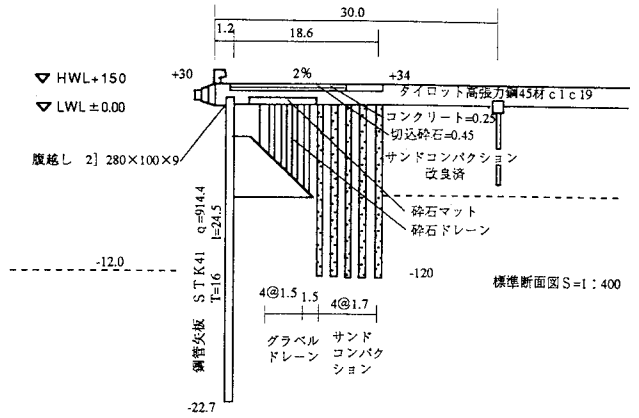


図-8 西港地区第1埠頭南岸壁(-12m)：岸壁b

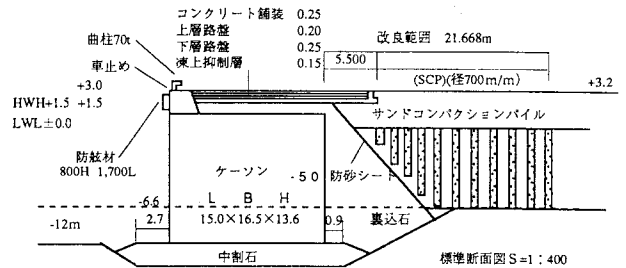


図-9 西港地区第3埠頭南岸壁西側(-12m)：岸壁d

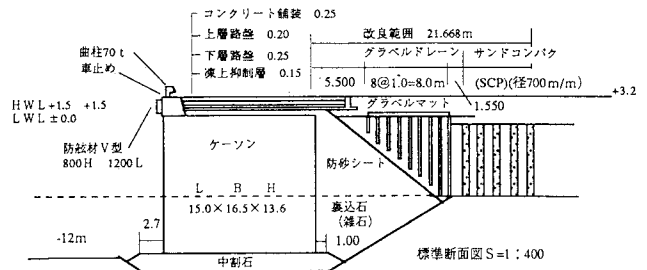


図-10 西港地区第3埠頭西岸壁(-12m)：岸壁e南側