

- 港湾計画最前線 -

直下型地震の 揺れの向きを考慮した 耐震強化岸壁の配置計画

独立行政法人港湾空港技術研究所
地盤・構造部主任研究官
野津 厚
国土交通省港湾局計画課課長補佐
池田 薫

はじめに

国土交通省では①震災時の緊急物資・避難者・啓開用建設機械等の海上輸送, ②震災直後から復旧完了までの一定の幹線貨物輸送機能の確保を目指して耐震強化岸壁の整備を全国で進めています。

耐震強化岸壁にとって最も脅威となるのは、言うまでもなく兵庫県南部地震のような直下型の大地震です。敵に備えるにはまず敵を知ることが大切であると言われており、直下型地震の揺れの性質を良く調べておくことが大切であると思います。ところが、最近の研究により、直下型の大地震の揺れの向きには一定の法則があること、これを利用すれば耐震強化岸壁の地震時の変形を大幅に少なくできることなどがわかってきました。

阪神・淡路大震災で神戸港の揺れの向きは？

我が国の港湾地域では 1960 年代から強震観測が実施されています。港湾地域強震観測が直下型の大地震の揺れを捉えたのは 1995 年の兵庫県南部地震が最初です。図-1 にこのときの神戸港の記録を示します。これを見ると、揺れは北北西-南南東の方向に卓越し

ていたことがはっきりわかります。兵庫県南部地震を引き起こしたのは六甲-淡路活断層系です。図-2 には余震分布¹⁾から推定される本震の震源断層を示しています。東北東-西南西に延びる震源断層に対して、神戸港の揺れはこれと直交する方向であったことがわかります。

このような著しい揺れの方向性は神戸港の被害にもあらわれています。図-3 には GPS が捉えたポートアイランド及び六甲アイランドの岸壁の残留変位の分布²⁾を示しますが、東西方向の法線を有する岸壁がより大きな被害を受けていることがわかります。岸壁は法線直交方向の揺れに弱いため、このような現象が生じました。

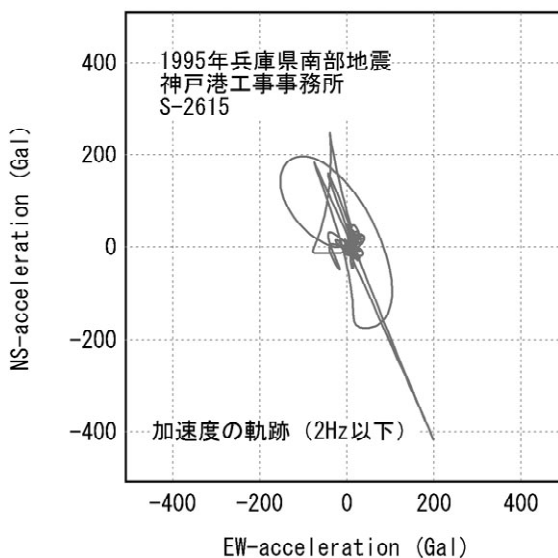


図-1 兵庫県南部地震の神戸港の強震記録

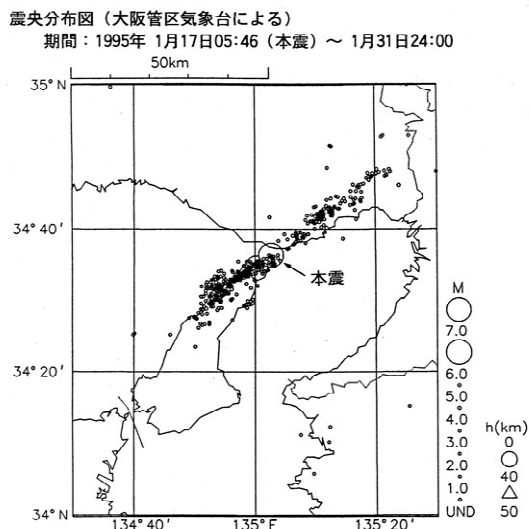


図-2 余震分布から推定される
兵庫県南部地震の

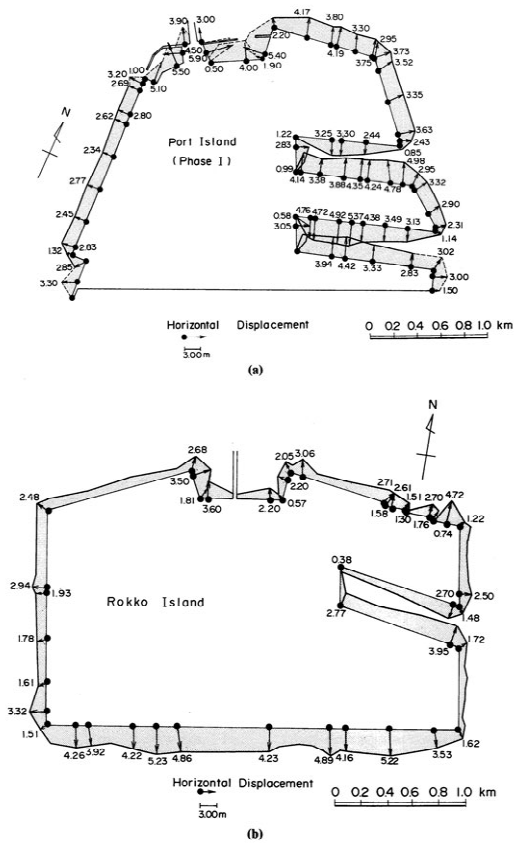
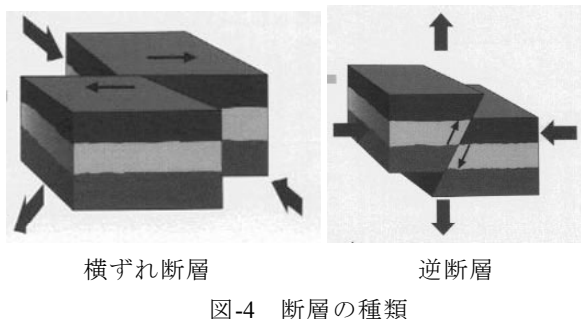


図-3 GPS が捉えたポートアイランド及び六甲アイランドの岸壁の残留変位の分布²⁾

他の直下型地震ではどうだったか？

直下型地震ではいつもこのように断層と直交する向きの揺れが強いのでしょうか？また、兵庫県南部地震は横ずれ断層（図-4 参照）の地震ですが、横ずれ断層や逆断層といった断層の種類（図-4 参照）によって変わってくるのでしょうか？



このことに興味を持って研究している地震学者の一人に武村雅之氏がいます。我が国では兵庫県南部地震以前には直下型の大地震の強震記録は得られていないので、強震記録に基づいた調査ができない状況にありました。このため武村氏は地震による墓石

や建物の倒壊方向を過去の文献で調べ、震源断層が横ずれ断層か逆断層かを問わず、震源の近くではほとんどの場合、断層と直交する方向の揺れが卓越することを突き止めました。一例として図-5 は 1896 年陸羽地震（マグニチュード 7.2, 逆断層）の震源付近の揺れの方向を示しています。

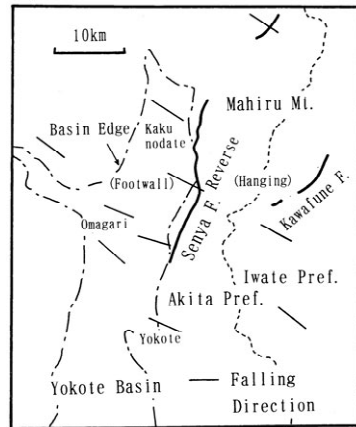


図-5 1896 年陸羽地震（マグニチュード 7.2, 逆断層）の震源付近での墓石や家屋の倒壊方向³⁾

海の方こう、米国のカリフォルニアでは昔から直下型地震が多く、兵庫県南部地震より以前から直下型地震の記録が得られています。それによると、やはり震源の近くで断層と直交する方向の揺れが卓越する性質があらわれています。その一例として、兵庫県南部地震のちょうど 1 年前、1994 年 1 月 17 日にロサンゼルス近郊でおこったノースリッジ地震（マグニチュード 6.7, 逆断層）の震源付近の揺れの方向を図-6 に示します。

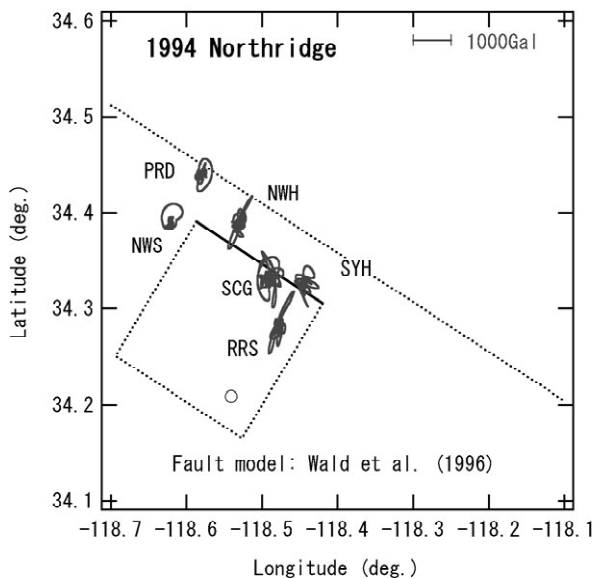


図-6 1994 年ノースリッジ地震（マグニチュード 6.7, 逆断層）の震源付近での揺れの方向⁴⁾

ノースリッジ地震では断層のずれが地表まで到達しませんでした, 地下で動いた断層面の位置は余震分布などから推定されています. 図-6の長方形はその地表面への投影を示しています. 一方, 地下で動いた断層面を地表まで延長していった時に, これが地表面と交わる線は西北西-東南東の方向を向いています (図-6の破線). もしも断層のずれが地表まで到達していれば, およそこの線に沿って地表地震断層が出現したはずですが, この線に対して, 震源付近の各地点で観測された揺れの向き (図-6の赤線) はほぼ直交していることがわかります.

以上のような揺れの方向性は断層の傾斜角やずれの向きにあまり依存しないことが, 港湾空港技術研究所の詳しい検討で明らかにされています. 詳しくは参考文献 4) を参照してください.

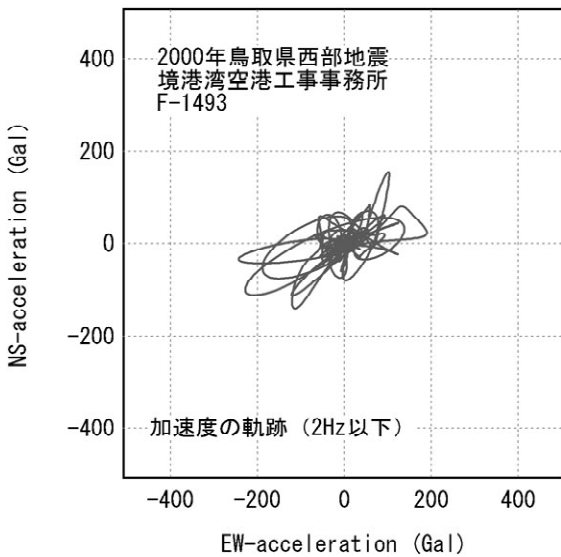


図-7 鳥取県西部地震の境港の強震記録

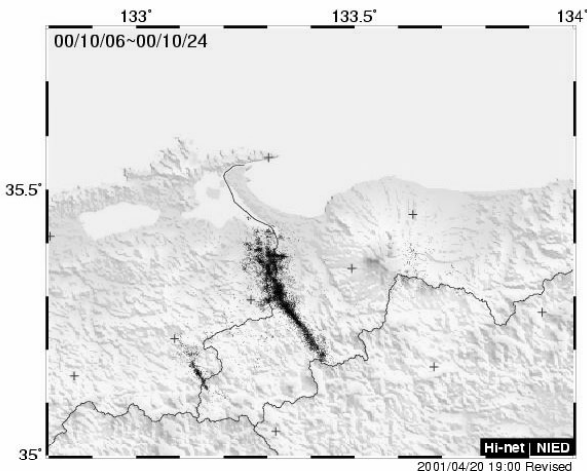


図-8 余震分布から推定される鳥取県西部地震の震源断層⁵⁾

最近の地震の例 (鳥取県西部地震)

次に最近の地震の例を紹介します. 図-7に2000年鳥取県西部地震による境港の強震記録を示しています. これを見ると, 揺れは東北東-西南西の方向に卓越していたことがわかります. 図-8は鳥取県西部地震の余震分布⁵⁾から推定される本震の震源断層を示しています. 北北西-南南東に延びる震源断層に対して, 境港の揺れはこれと直交する方向であったことがわかります.

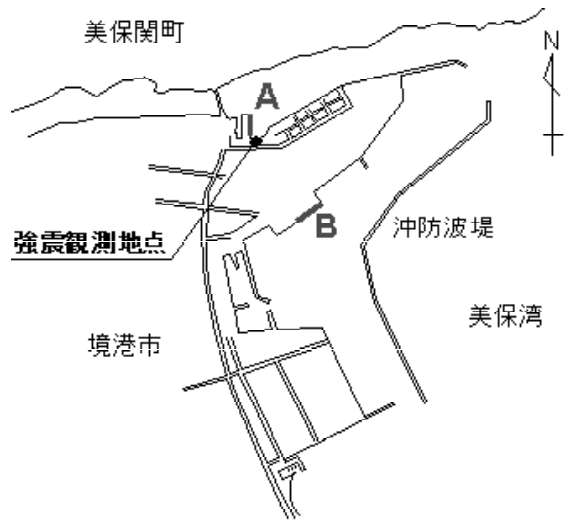


図-9 境港平面図

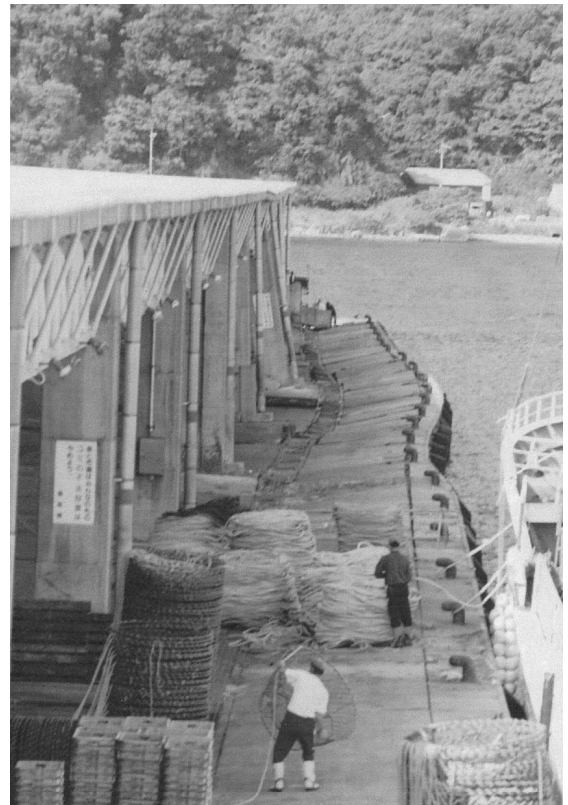


写真-1 境漁港-6.0m 岸壁の被災状況



写真-2 境港-13.0m 岸壁の地震後の状況

これに対して境港の被害はどのようなものでしょうか。図-9 の平面図に示す施設のうち，南北方向の法線を有する境漁港-6.0m 岸壁（平面図の A）は大きな被害を受け，岸壁法線が湾曲しながら最大 1.3m 程度はらみだしました（写真-1）。一方，東西方向の法線を有する-13.0m 岸壁（平面図の B）では，エプロンに段差が生じましたが，法線の出入りは軽微で（写真-2），震災後比較的早い時期から操業が再開されました。両施設は構造等が異なりますのでいちがいに比較はできませんが，揺れの方向も大きな要因の一つであると考えられます。

耐震強化岸壁の配置計画における活用

通常，港湾計画においては，背後圏の人口から緊急物資輸送量を試算し，それに基づき必要な耐震強化岸壁数を求め，次に，緊急輸送経路が確保されているか，岸壁の背後に緊急物資を保管できる緑地等が確保されているか，危険物取扱施設等から離れているか等を考慮して耐震強化岸壁の配置を決定しています。しかし，先に述べた事実は，耐震強化岸壁をどこにどの方向に配置するかを決定する有意義な判断材料となります。

いま，耐震強化岸壁の配置を決めようとする港の近くに，将来地震を引き起こす恐れのある活断層があるとします（図-10）。このとき，耐震強化岸壁の法線方向が活断層に対して直交するように配置すれば，もしこの活断層で地震が起きても，その最も強い揺れの向きは法線平行方向となりますから，耐

震強化岸壁の地震時の変形を大幅に抑えることができます。港の近くに地震を引き起こす恐れのある活断層があるかないか，また，その向きはどうであるかといった情報の収集にはいわゆる活断層マップ⁶⁾が有用です。また，兵庫県南部地震以後活発に行われている活断層調査により，活断層の情報は日々アップデートされていきます。こうした新しい情報は文部科学省や地方自治体から入手できます。

地震動の卓越方向も，耐震強化岸壁の配置計画において考慮すべき重要事項の一つであると考えます。

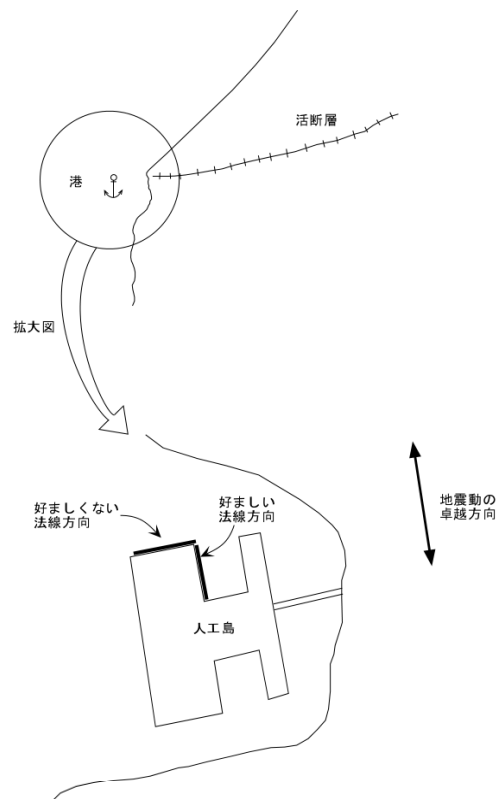


図-10 耐震強化岸壁の最適法線方向の概念

参考文献

- 1) 気象庁：1995 年 1 月地震火山概況。
- 2) Inagaki et al.: Performance of caisson type quay walls at Kobe Port, *Special Issue of Soils and Foundations*, 1996, pp.119-136.
- 3) 武村他：明治以後の内陸浅発地震の被害からみた強震動の特徴，*地震 2*，第 50 卷，第 4 号，1998 年，pp.485-505.
- 4) 野津他：震源近傍の地震動の方向性に関する研究とその応用，*港湾技術研究所報告*，第 40 卷，第 1 号，2001 年，pp.107-167.
- 5) 防災科学技術研究所ホームページ (www.bosai.go.jp)
- 6) 活断層研究会：新編日本の活断層，分布図と資料，東京大学出版会，1991 年。