

鳥取県西部地震ならびに芸予地震の干拓堤防への影響

岡山大学環境理工学部 正員 ○藤井弘章

天満龍介

岡山大学環境理工学部 正員 西村伸一

1. はじめに 2000年10月6日に鳥取県西部地震(M=7.3)が、2001年3月24日芸予地震が発生した。この周辺には干拓堤防が古くから築造されている。これらは、機能には損傷のないもののクラック等の被害を受けた。本報告はこれらの堤防について現地踏査・調査を行った結果、ならびに、鳥取県西部地震の堤防への影響を数値解析で定性的に検討した結果について報告する。被害の状況を数値化する手法として、クラック幅、クラック深をコンベックスルールで測定し、あわせて横断測量を行った。各断面の位置、方位は実測及び地図上で同定した。

2. 鳥取県西部地震による中海周辺の干拓堤防のクラックの調査結果と数値解析の比較 表1に鳥取県西部地震関連の堤防の概要も示している。表には地図上で同定した、震央からの距離(震央距離)、堤防法線の震央との角度(震央角度)記している。クラックの多少は表中において多い(◎)、稍多い(○)、少し(・)、なし(×)で示している。表のように堤防の構造¹⁾、²⁾が異なるので、堤体底幅、堤高、沖積層厚等を基準値とした指標を用いる。これらを底幅・堤高・層厚あたりのクラック巾率あるいはクラック断面積(クラック巾×クラック深)率と称する。図1に入射角(堤軸法線と震源との角度)と底巾当クラック巾率をパラメータにした測点数、同率が8以上の占める割合との関係を示す。入射角0度および80度付近のクラック幅が大きく、兵庫県南部地震におけるため池の被害状況と一致している³⁾。図2のように各堤防の最大平均クラック巾の大きさは弓浜堤、大海崎堤、森山堤の順であるが、底幅あたりのクラック長率にすると弓浜堤が最も大きい。各堤防の築堤砂層厚と沖積層厚さの和と平均クラック幅との関係は(図3)、堤長が極端に短い馬渡堤を除き、2つの層の厚さの和が大きいほど平均クラック幅が大きくなっている。この調査結果を検証するために、動的弾塑性FEMプログラムquake3d⁴⁾を基に修正したものを用いて数値解析を行った。堤体モデルの断面は各堤防の標準断面とし、長さ24m(900要素、576節点)の①一端固定他端自由、②両端自由の2条件とした。入力地震波は美保関の実地震波⁵⁾を実際に入射角にあわせて与えた。また入力データは設計時ならびに児島湾締切り堤防のデータを参考にして定めた。図4は大海崎堤の各変位を1とした各堤防の縦断方向の残留変位率と底巾当クラック率を比較している。両者は対応している

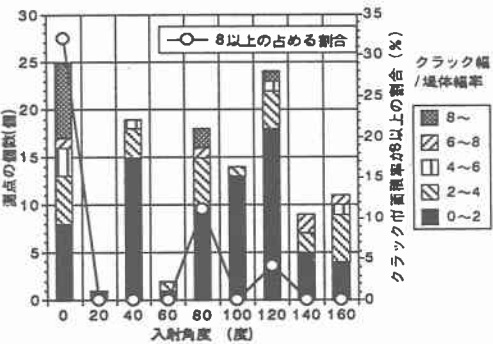


図1 堤体底巾当クラック巾率

表1 鳥取県西部地震 (2000.10.6, 震央: 35.3N, 133.3E, D11km, M=7.3)による堤防への影響

調査地点		クラック	震央距 (km)	震央角度 (°)	堤高 (m)	堤底巾 (m)	堤頂巾 (m)	構造	築堤層厚 (m)	沖積層厚 (m)	埋立	測点数
大海崎堤	松江市◎		28	175	4	127	3	傾斜堤	10	6	×	11
承水路堤	松江市○		29	7~170	3	55	3	傾斜堤	8	5	×	40
馬渡堤	米子市・		29	-35	4	83	3	傾斜堤	7	8	×	5
森山堤	北堤 松江市・		30	170	3	141	3	傾斜堤			×	
森山堤	東南堤 松江市○		30	86				傾斜堤			×	
森山堤	南堤 松江市◎		31	122	2.5	108	3	傾斜堤	10	6	×	14
揖屋堤	西堤 米子市・		26	90				傾斜堤			×	
揖屋堤	北堤 米子市○		26	128				傾斜堤	7	7	×	14
揖屋堤	東堤 米子市○		25	46				傾斜堤			×	
弓浜堤	東北堤 米子市◎		28	116	3	60	13	傾斜堤	7	10	×	12
弓浜堤	北堤 米子市・		28	27				傾斜堤			×	
弓浜堤	西堤 米子市◎		27	84				傾斜堤			×	
弓浜堤	西南堤 米子市◎		26	116				傾斜堤			×	
彦名堤	北堤 米子市・		20	121				傾斜堤			×	
彦名堤	西堤 米子市・		21	121				傾斜堤			×	
彦名堤	西南堤 米子市○		21	47				傾斜堤			×	
彦名堤	東南堤 米子市○		19	139	3	44	6	傾斜堤	7	5	×	29

といえる。この解析手法は、兵庫県南部地震におけるため池の被害状況の結果⁶⁾とも一致しており、少なくとも相対的な判断は可能であるといえよう。またクラックによる被害の被害状況の判定も有効といえる。また震央距離の影響はあまりみられない。

3. 芸予地震による堤防のクラック 表2に芸予地震関連の堤防の調査結果を示す。

日本海側の堤防は傾斜堤(緩傾斜盛土、前面アスファルト舗装)であったが、瀬戸内海の堤防は直立堤(前面コンクリート構造背面盛土)である。また瀬戸内海側の堤防は干陸後埋立てられたところが多い。ここでの被害は震央距離が近くても軽微である。また100km以上離れた堤防(西ノ浦)では被害はない。埋立てしていない地区では、震央距離が遠い安芸津第1工区南堤が、西野工区よりもクラックが多い。クラックは堤軸に添って走っており、下部のコンクリート構造の境界のほぼ直上にあたる。鳥取県西部地震では20km～30kmの間ではそれ程の差異はなかったが(表1参照)、芸予地震では差異があるとしてよいであろう。鳥取県西部地震、兵庫県南部地震でみられた震央角度の影響は、芸予地震ではみられないが、位置、地質、構造(コンクリート構造にも差異)、埋立てなどの多様な条件に比べ測点数が少ないことで明確な特性が得られなかったものと思われる。

4. まとめ 干拓堤防の被害は、堤体の構造(断面の形状、堤体の震央に対する方位、堤長等)、基礎地盤等の要因が影響しており、震源との角度が0度に近いもの、築堤砂層厚及び沖積層厚が厚い箇所における堤防のクラックが大きいといえてよいであろう。また堤防両側が海で囲まれているか否かについても影響される。現地調査結果と数値解析結果から、これらの指標および解析手法は有効であるといえよう。なお計算には岡山大学総合情報処理センターSX-4を利用した。

参考文献 1) 中国四国農政局(1999): 国営中海土地改良事業の概要、 2) 中国地方基礎地盤研究会編(1995): 山陰臨海平野地盤図、中国地方基礎地盤研究会編、 3) Fujii, H. et al(2000): Damage Factors for small Embankment Dams due to the Hyogoken-Nambu

Earthquake - Case Study on Hokudan Town, Soils and Foundations, Vol.40, No.6, pp.117-131. 4) 若井明彦(1999): 地盤振動の基礎理論と3次元動的弾塑性FEM地盤工学学会、 5) 防災科学技術研究所(2000): 高感度地震観測網データ、 6) 藤井ら(2000): 平成2年度地盤工学学会研究発表会講演要旨、 7) 藤井ら(2001)農業土木学会講演要旨(投稿中)

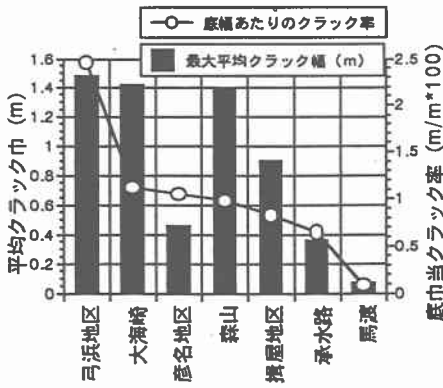


図2 各堤防のクラック

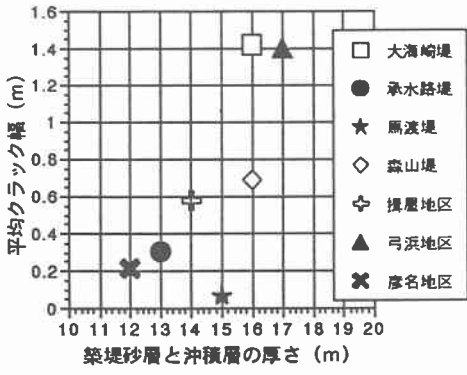


図3 層厚と平均クラック巾との関係

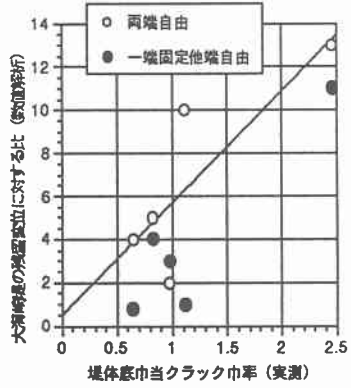


図4実測値と数値解析結果の比較

表2 芸予地震(2001.3.24, 震央: 34.1N, 132.7E, D=60km, M=6.4)による堤防への影響

調査地点			クラック	震央距離	震央角	震央角	堤高	堤頂巾	構造	埋立
安芸津第1工区	東堤	安芸津町	・	26.4	320	140	3.5	5	直立型	○
安芸津第1工区	南堤	安芸津町	◎	26.4	230	50	3.5	6	直立型	×
安芸津第1工区	西堤	安芸津町	・	26.4	139	139		6	直立型	×
安芸津第2工区		大竹市	×	46.4	312	132	2.5	4	直立型	○
安芸津第3工区	東堤	安芸津町	×	24.6	337	157	3.5	4	直立型	○
安芸津第3工区	南堤	安芸津町	×	24.6	230	50		6	直立型	○
吉名地区安浦工区	北堤	安浦町	×	20.5	356	176	2.5	6	直立型	○
吉名地区安浦工区	東堤	安浦町	・	20.5	289	109			直立型	○
吉名地区安浦工区	東南堤	安浦町	・	20.5	239	59			直立型	○
吉名地区安浦工区	南堤	安浦町	・	20.5	171	171			直立型	○
吉名地区吉名工区	南堤	竹原市	×	30.0	230	50	2.5	6	直立型	○
吉名地区吉名工区	東堤	竹原市	・	30.0	270	90			直立型	○
西ノ浦地区	外堤	防府市	×	110.7	252	72	5	5	直立型	×
西ノ浦地区	内堤	防府市	×	110.7	252	72			直立型	×
西野地区	南堤	大崎町	○	21.0	246	66	6	3.5	直立型	×
西野地区	北堤	大崎町	○	21.0	15	15	6	5	直立型	×