

八郎潟干拓堤防の地震動特性について（第2報）

東北大学工学部 正員 河上 房義
東北工業大学 正員 ○浅田 秋江

1. まえがき

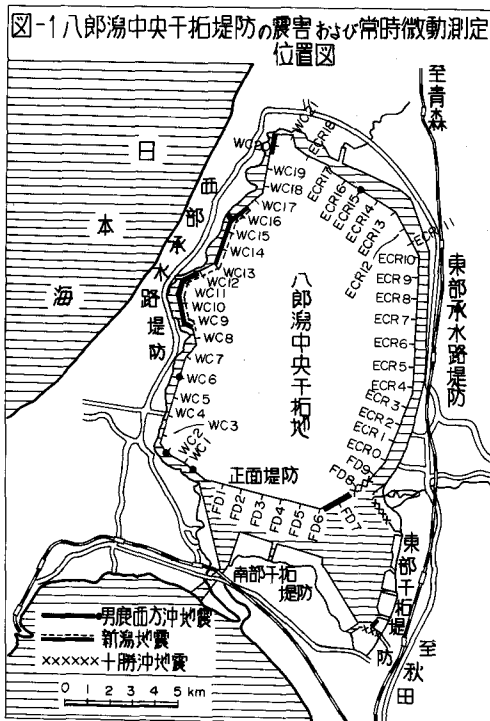
八郎潟干拓堤防は過去、男鹿西方沖地震（1964.5.7）新潟地震（1964.6.16）および十勝沖地震（1968.5.16）により著しい被害を受け、軟弱な粘性土地盤上に築造された砂盛土がきわめて耐震性の低いことを示した。その後、被害の調査、堤防の常時微動測定あるいは堤防の地震動観測により、干拓堤防の耐震性について検討を加えてきたが、八郎潟干拓堤防のような軟弱地盤上砂盛土の震害に影響を及ぼす最大の地震動要素は変位振巾であるという実証がえられたので、問題点の提起をも含めて、これらの結果を報告したい。

2. 地震と震害

八郎潟干拓堤防は過去12年間に表-1に示す6回の強震動を受け、秋田県南東部地震を除いた各地震により大なり小なりの被害を発生した。過去の地震の発生状況とそれによる被害および復旧の状況は表-1および図-1に詳細に示されている。表-1および図-1によると、男鹿西方沖および新潟地震時には主として西部承水路が被害をうけ、十勝沖地震時には正面堤防とその付近の東部および南部干拓堤防に被害が集中したことがわかる。

表-1 八郎潟中央干拓堤防の地震発生と被害状況

地震名	地震発生状況						被害発生状況	施工(復旧も含む)状況	
	発震時	震源位置 および深さ	M	震度	秋田地方気象台の記録値				
					N-S	E-W			U-D
三陸沖地震	S.35.3.21	N 39.8° E143.5°	7.5	秋田市 Ⅲ	16.7mm T=2.1sec	23.0mm T=5.0sec	8.0mm T=4.0sec	FD6-7の試験堤防施工中に地震が発生し、施工中の築堤防が沈下するとともに、ホリソウの混濁とみられ、水柵も変形した。	
男鹿西方沖地震	S.39.5.7	N 40.5° E138.6° d=0km	7.0-7.2	Ⅵ	16.8mm T=3.1sec	18.8mm T=4.9sec	8.4mm T=4.3sec	西部承水路堤防 WC8+850 - WC11+950 WC13+0 - WC16+460 WC19+600 - WC20+700 延長8.5km 最大1.7m沈下 正面堤防 FD6+250 - FD7+136 延長896m 沈下0.2m その他、地盤の変り目、コーナー付近、堤体構造の変り目に被害が集中(FD6, ECR15, WC2, WC0+500, WC9+100, WC13+200, WC11+600)	
余震	S.39.5.8	N 40.7° E138.2°		Ⅲ					
新潟地震	S.39.6.16	N 38.4° E139.2° d=40km	7.5	Ⅳ	20.5mm T=4.8sec	20.2mm T=2.1sec	10.5mm T=3.6sec	西部承水路堤防(WC8+850 - WC16+460) 延長6.6km, 0.1-0.2m沈下	
男鹿半島沖地震	S.39.12.11	N 40.4° E138.9° d=60km	6.3	Ⅳ	3.75mm T=5.1sec	4.0mm T=4.4sec	2.15mm T=2.7sec	西部承水路堤防(WC9+750) 延長40m, 0.3m沈下	
1968年十勝沖地震	S.43.5.16	N 40.7° E143.6° d=40km	7.9	Ⅳ	41.8mm T=2.5sec	41.3mm T=3.3sec	32.0mm T=4.3sec	正面堤防の軟弱地盤部のほぼ全区間の西側抑え盛土の沈下、き裂が発生した。とくにFD7+121 - 7+204, FD7+450 - 7+690間は堤頂において1.0 - 1.9mの沈下発生	
秋田県南東部地震	S.45.10.16	N 39.2° E140.8°	6.2	Ⅲ				被害全くなし	



T (sec)	最大変位 (mm)				
	男鹿西方沖地震	新潟地震	十勝沖地震	秋田南東部	
WC 1+0	0.25	0.74	0.95	0.63	0.56
2+0	0.30	0.98	1.20	0.83	0.75
3+0	0.25	0.75	0.93	0.63	0.56
4+0	0.25	0.76	0.92	0.63	0.56
5+0	0.20	0.54	0.65	0.45	0.39
6+0	0.20	0.54	0.65	0.45	0.39
7+0	0.40	1.50	1.80	1.30	1.10
8+0	0.10	0.19	0.23	0.16	0.14
9+0	0.40	1.60	1.80	1.30	1.10
10+0	0.60	2.90	3.30	2.40	2.00
11+0	0.70	3.60	4.10	3.00	2.40
12+0	0.50	2.20	2.50	1.80	1.50
13+0	0.35	1.30	1.40	1.10	0.86
14+0	1.00	6.20	6.80	5.20	4.10
15+0	0.80	4.40	4.90	3.70	2.90
16+0	0.50	2.20	2.40	1.90	1.40
17+0	0.25	0.76	0.83	0.66	0.51
18+0	0.25	0.76	0.83	0.66	0.51
19+0	0.25	0.77	0.82	0.66	0.51
20+0	0.30	1.00	1.10	0.87	0.65
21+0	0.25	1.00	1.10	0.87	0.66
22+0	0.25	1.00	1.10	0.87	0.66
ECR17+0	0.25	0.74	0.82	0.67	0.52
13+0	0.30	0.52	0.67	0.54	0.47
9+0	0.20	0.48	0.60	0.49	0.41
6+0	0.20	0.48	0.60	0.49	0.41
3+0	0.20	0.48	0.60	0.49	0.41
FD 9+0	1.80	12.80	17.80	12.80	12.40
8+0	2.00	15.00	21.00	14.90	14.50
7+0	2.00	15.11	21.11	14.90	14.50
6+0	1.00	5.40	7.50	5.20	5.10
5+0	1.00	5.50	7.50	5.20	5.00
4+0	0.50	2.00	2.70	1.80	1.80
3+0	0.40	1.40	1.90	1.30	1.20
2+0	0.40	1.40	1.90	1.30	1.20
1+0	0.40	1.50	2.00	1.30	1.20
0	0.30	1.20	1.50	1.20	1.10

地震と震害との関連性を検討するために、中央干拓堤防全域について、堤防地盤の常時微動を測定し、その卓越周期を求め、金井博士の式により、各地震時の各堤防地盤上の最大変位を推算した(表-2)。これらの最大変位を考えると次に述べるように震害の経過がよく説明される。

昭和39年5月7日男鹿西方沖地震が発生し、西部承水路堤防は地盤上において推定最大変位1.0~6.2mm(推定最大加速度45gal~25gal)の地震動を受け、0.2~1.7mの沈下量を生じた。その後、6月16日にいたり、再び新潟地震が発生し、西部承水路堤防は表-2に示すように、男鹿西方沖地震時より約20%大きい最大変位を示し、全体的にさらに約20cmの沈下量を生じた。新潟地震の直后、堤防の復旧が行われ、40年度中に復旧工事が完了し、堤防の耐震性が高められた。その後、昭和43年5月16日の十勝沖地震、昭和45年10月16日の秋田南東部地震が発生したが、堤防の耐震性が高められたこともあるが、表-2に示すように、いずれの地震も男鹿西方沖および新潟地震時より最大変位が小さいため、被害は生じなかった。一方、正面堤防は男鹿西方沖地震および新潟地震時に、全堤防中、最も大きい最大変位を示しながら(表-2)、被害は西部承水路堤防より軽微であつた。しかるに同程度の最大変位を示す十勝沖地震時に正面堤防は著るしい被害を受けている。このような事実から、少なくとも、正面堤防については、最大変位の大きさのみでは震害の原因を明らかにすることはできない。そこで、さらに、正面堤防における地震と震害との関係を詳細に知るために、堤防および地盤の地震動観測とS波の重複反射による応答計算から地盤の地震動特性を求めると、図-2に示すように、堤防上では0.5、0.8および2.8sec、地盤上では0.33、0.8および2.8secの卓越周期を示すこと

が明らかにされた。さらにそれぞれの卓越周期に対する各地震時の最大変位を前記の方法により求める(表-3)と、各周期に対する変位量ほどの地震に対してもほとんど相異はないが、震央距離が最も遠い十勝沖地震時には、その伝播経路において短周期成分が減衰し、長周期成分が卓越すると考えられるから、正面堤防は男鹿西方沖地震および新潟地震時におけるよりも、十勝沖地震時において、より大きい最大変位を受けたことになり、被害の規模もそれに比例して大きくなったものと考えられる。地震と震害との関係について述べたことを整理すると、一般的に砂盛土の震害に影響を及ぼす地震動

要素は最大加速度が最も大きい要因といわれているが、震害状況(表-1)と最大変位(表-2)との関係をみただけでは震害に及ぼす地震動要素は最大加速度ではなく最大変位が最も重要な要素であることが明らかにされている。さらに地震と震害との関係を詳細に観察すると震害に及ぼす要因は最大変位量の絶対値のみでなく、入射した地震波の卓越振動と地盤の固有振動との重合によつて生じた変位量が最も重要な要素であることがわかる。

3. 地盤と震害

男鹿西方沖地震による八郎潟西部承水路堤防および正面堤防における堤体の沈下量、地盤の構造、および常時微動測定による地盤の卓越周期をそれぞれ図-3(A)および3(B)に示した。さらに堤体の沈下量、軟弱地盤厚および卓越周期との定量的な関係を図-3(C)に示した。これらの図から、いずれの堤防においても、地盤が軟弱になればなるほど、また軟弱地盤厚さが増大すればするほど堤体の沈下量が増加する事実がきわめて歴然と示されている。長周期成分が卓越するということはとりもなおさず変位振巾が増大することを意味するので、軟弱地盤上盛土に被害をもたらす地震動要素としては変位が最も大きな要素であることがこゝでも実証されている。さらに八郎潟干拓堤防地盤のようなポアソン比が高い表面層を有する地盤においては地震波動が実体波であつても表面波であつても、変位振巾が長周期で卓越することは理論的にも容易に説明がつくので、今後はとくに干拓堤防のような長大構造物に大きな影響を持つといわれる表面波についても充分な検討を加える必要がある。

図-2 重複反射理論による堤防および地盤の変位スペクトル

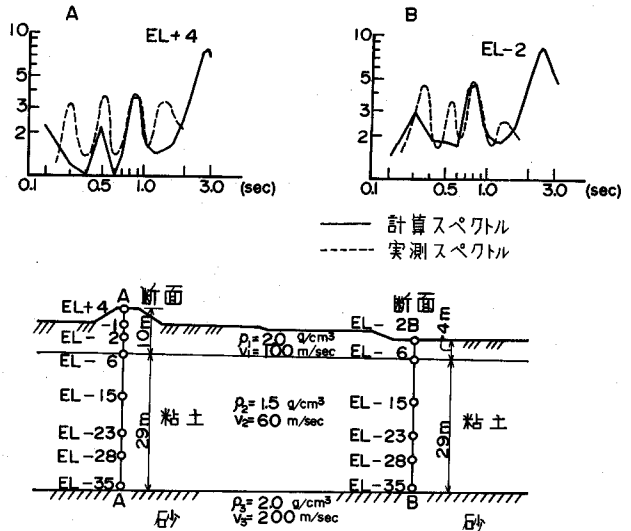
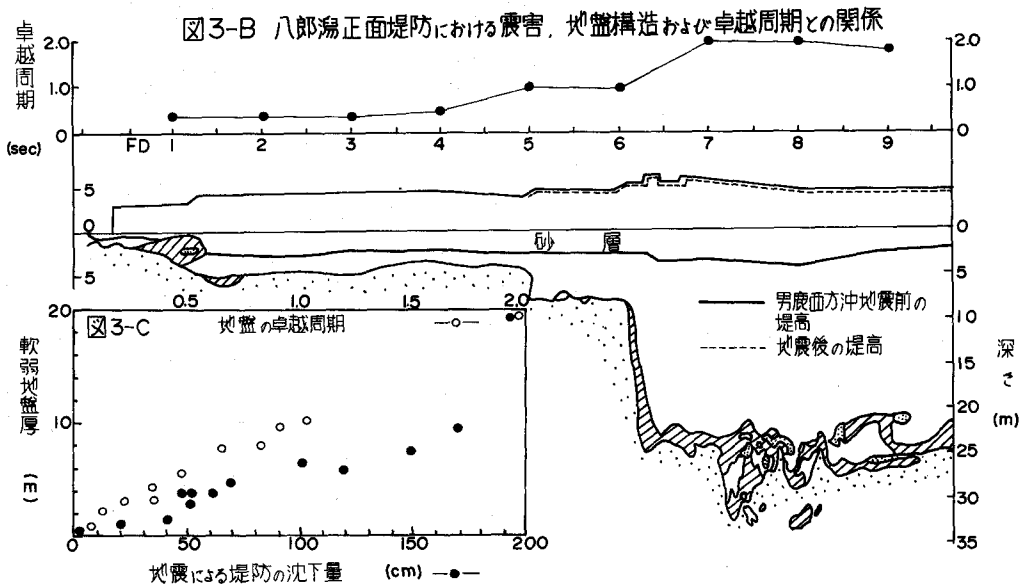
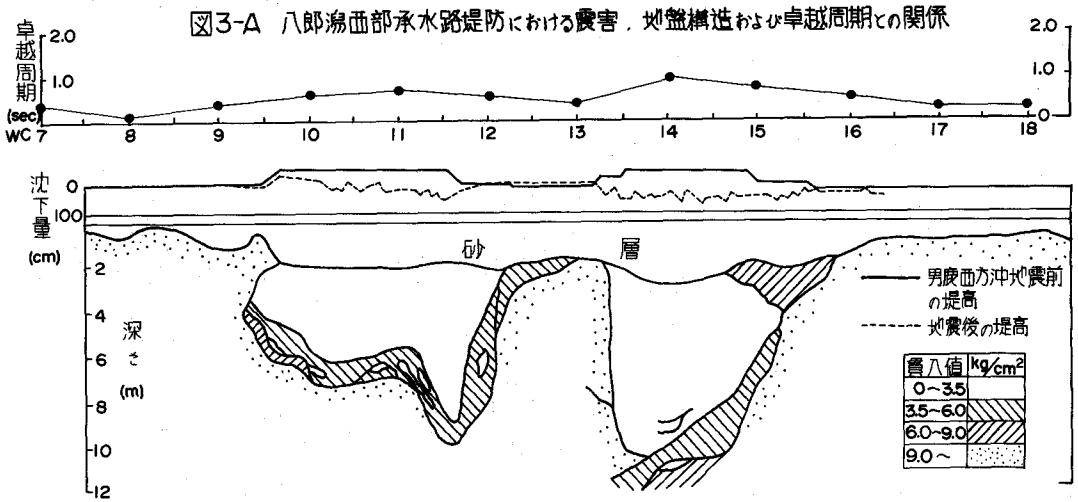


表-3 八郎潟正面堤における最大変位および加速度

地震名	Δ (km)	M	最大変位 (mm) [最大加速度 (gal)]			
			TG 0.33 sec	0.80 sec	2.30 sec	2.80 sec
男鹿西方沖地震 (1964.5.7)	138	6.9	0.88 [39]	3.8 [24]	18.6 [14]	25.0 [13]
新潟地震 (1964.6.16)	186	7.5	1.23 [55]	5.3 [34]	26.0 [20]	34.9 [18]
十勝沖地震 (1968.5.16)	315	7.9	0.86 [39]	3.8 [24]	18.3 [14]	24.6 [13]
秋田県南東部地震 (1970.10.16)	103	6.5	0.7 0.84 [38]	3.7 [23]	17.8 [14]	23.9 [12]



4. 結論

八郎瀧中央干拓堤防は過去10年間に二、三の強震動に見舞われ、軟弱な粘性土地盤上に築造された砂盛土がきわめて耐震性の低いことを実証した。これらの貴重な経験的事実から、長周期の卓越周期を有する軟弱地盤においては変位振巾が増大し、これが盛土の被害にきわめて大きな影響を及ぼすことが明らかにされた。現在、土質構造物の耐震設計を行う際、設計用地震動として“加速度”を偏重する傾向があるが、長周期成分が卓越する地盤上の構造物に対しては“変位”を優先してとり入れてほしいものである。とくに砂の液状化に関する実験などで、外力として加速度のみをとり扱っているが八郎瀧干拓堤防のような軟弱地盤上砂盛土の液状化を検討するような場合には入力としてやはり変位を考えないと事実と反するように思われる。