

盛土堤の常時微動の観測

運輸省港湾技術研究所 正員 土田 肇

・ 野田節男

・ 倉田榮一

1 まえかき

わが国の産業、社会活動の主要な場である臨海地域は地盤の低いところが多く、これらの地域は海岸堤防等の防潮施設によって津波、高潮および高潮位による海水の侵入から守られている。これら防潮施設の耐震性が重要なことは説明を要しないであろう。筆者らは、まず盛土形式の海岸堤防を対象として、その耐震設計法の合理化のための調査研究を実施してきた。その一環として、実在の海岸堤防についてボーリングによる土質調査と土中を伝播する弾性波速度の測定を行なう機会があったので、その作業と並行して堤体とその地盤で常時微動の観測を行なった。常時微動の観測結果と堤体の動的特性や耐震性との間の相関性に関する何らかの資料が得られればと考えたためである。常時微動の観測やそのスペクトル解析などは比較的手軽に行なえるので、それが有効な情報を提供するならば極めて便利と考えられる。

2 観測地点、および観測方法

観測地点は愛知県三河港と三重県松阪港及びその付近の海岸堤防 22ヶ所である。この内、三河港豊橋地区と松阪港高須地区において図.1, 2に示すような標準的な断面を持つ堤防を各々1ヶ所選り、土質調査と、そのボーリング孔を利用した弾性波の伝播速度を実施した。

常時微動の観測は、図.1, 2に示すように堤頂と地盤上に換振器を置き、堤軸直角方向の水平振動と同時に記録した。海岸堤防は頂部、両斜面共にコンクリートにより被覆されいわゆる「三面張り」構造となっているので、堤頂の振動は頂部コンクリート板上の換振器により得たが、地盤の振動は三面張りとは完全に縁の切れた地表面に置いた換振器から得た。換振器として動線輪型振動計（固有振動数 $f_0 = 0.5\%$ 、減衰係数 $\alpha = 1.0$ のもの、および $f_0 = 3.3\%$ 、 $\alpha = 1.5$ ）を用いた。現象は直流増幅器により 1000 ～ 5000 倍に増幅され、カセット式テープレコーダーと電磁オシログラフにより記録された。

3 土質状態、弾性波速度

豊橋、高須地区において深さ 25.5 m まで土質調査を行なった。両地区の堤防内部の状態は、堤頂面より深さ約 1.5 m までは玉石を含んだ径 30 mm 程度の礫層で、N 値は豊橋地区で 25、松阪地区で 45 であり松阪地区の堤防の方がやや締った状態であると云える。地盤は両地点共におおむね砂質土からなっているが、豊橋地区では厚さ約 4 m、松阪地区では厚さ約 7 m の N 値 10 以下の粘土を含む層が存在する。弾性波の伝播速度の測定はボーリング孔を利用して行なわれた。堤頂で「かけや」により発生させた S、P 波を、ボーリング孔内にセットした 3 成分地震計によって記録し、堤頂

の地震計による対応する波との時間差から波速を求めた。これによると、堤体内は土質状態に着じる
しい差異がなく V_s は一定と見なせることがわかり、豊橋で 135 m/sec 、松阪で 170 m/sec であった。

4 観測結果および解析

常時微動記録の1例として、図3 にボーリング地点の地盤と堤頂で得られた記録を示す。両
地点の沖積層の厚さは $16 \sim 19 \text{ m}$ で似かよっており、地盤における記録波形に大きな相違は認められ
ない。全ての記録についていえることであるが、堤頂での記録は地盤での記録と比較して振動数の高
い成分が消えており、波形から堤体のフィルター作用が認められる。ここでは豊橋地区の堤体の方が、
や、緩い土質状態であるためか、高振動数成分の消滅の程度が著しい。得られた速度記録のうち
定常的と思われる部分 10 秒間を 0.01 秒間隔で読みとりパワースペクトルを計算した。図4～6には豊
橋、松阪のボーリング実施地点における地盤と堤頂部で得られた記録について求めたスペクトルを
示した。豊橋地区では堤防が約 500 m の直線部をなしている中央部でボーリングを行なったので、そ
の地点と前後 120 m 離れた2ヶ所で観測を行なっている。地盤での記録のスペクトルは $2.5 \sim 3 \text{ Hz}$ で
鋭いピークを示しており、この付近の地盤の卓越振動数と考えられる。堤頂での記録のパワースペ
クトルも高さは $1.3 \sim 1.8$ 倍であるが、その振動数は地盤と同様に $2.5 \sim 3 \text{ Hz}$ である。一方、松阪地区
ではボーリング地点の他に 200 m 離れたもう1地点で観測を行なったが、共に地盤の記録では 2.5 Hz
で鋭いピークが見られる。次に堤体の周波数特性を地盤と堤頂におけるパワースペクトルから求めた。
これらの関係は次式によって表わされる。

$$P_{yy}(f) = |G(f)|^2 \cdot P_{xx}(f)$$

ここに $P_{yy}(f)$ 、 $P_{xx}(f)$ はおのおの堤頂、地盤におけるパワースペクトルであり、 $G(f)$ は堤
体のインパルス応答のフーリエ変換であってその周波数特性を表わしている。 $|G(f)|$ の例として
図4～6より求めた結果を図8、9に示す。豊橋地区の3地点についてみると堤防の取付け部に近い
所では振動数に係わりなく値はほぼ1であるが、他の2地点では 4.5 Hz で $2 \sim 4$ の値を示すピークが
見られる。このことは、取り付け部に近い地点では堤体が地盤に拘束され一体となって運動している
が、他の2地点では堤長の直線区間が十分に長いので堤体の振動特性が顕著に表われたものと考えら
れる。地盤におけるパワースペクトル値の大きな $2 \sim 5 \text{ Hz}$ において振動が増大されることは堤体の耐
震性を考える場合見落せない現象と思われる。松阪地区についてみると2地点共 $0.5 \sim 1.0 \text{ Hz}$ に大き
なピークがその他にも 4.5 、 12.5 Hz にも2程度のピークが見られる。ボーリング地点から 200 m 離
れた所では、この他に 10 、 15 、 16.5 Hz にも $1.7 \sim 2$ 程度のピークがある。地盤でのパワースペクト
ル値が大きい $2 \sim 4 \text{ Hz}$ の間ではあまり大きな値を示していないが、 0 Hz 近傍のパワースペクトルの誤
差を考慮してもなお 1 Hz におけるピークは見落せないし、他のピークも地盤でのパワースペクトル値
が小さいとはいえず無視できないように思われる。

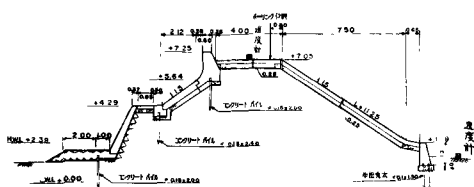
土のせん断剛性率が求まっているので、ここでは堤体を4質点系にモデル化してみた。筆者ら
の行った大規模実験では微小振動に対して V_s より求まるせん断剛性率を $1/2$ に減少させると現象
とよく合ったことから、同様にして豊橋、松阪地区の堤体の固有振動数を求めると1次はそれぞれ

4.3, 6.8 Hzであった。豊橋地区の堤体については図8のピークとよく合うが、図9の松阪地区では相当するピークが見られない。松阪地区の堤体は盛土の密度が高く、せん断剛性率も大きいので1次の固有振動数が高いと考えられるのだが図9では1~5 Hzの間で応答が大きい。この相違についてはさらに検討を進めたい。

5 むすび

海岸堤防のような盛土構造物の耐震性を判断するために有効な資料が、常時微動のように比較的手軽に測定できる現象から得られるものかどうか試みきた。未だ解析が完全には完了していないが、結果は相当複雑で単純な結論を導くことは難しい。今のところ云えることは次のようである。

- (1) 海岸堤防のように三面をコンクリートで被覆された盛土構造物のパワースペクトルに関して、松阪地区で得られたものは地盤より求めたものとほぼ等しく、地盤と同一振動をしていると考えられる。
 - (2) 一方、豊橋地区の堤体に関しては、4.5 Hzで大きな応答を示し、この場合は動的挙動を考慮せねばならぬ。
 - (3) 豊橋、松阪地区における常時微動のパワースペクトルから、両地区の地盤の卓越周期が2~4.5 Hzにあると思われる。
 - (4) せん断波速度から求めたせん断剛性率を用いて実在堤防を質点系にモデル化した時、常時微動解析の結果と一致せぬ場合もあるので、モデル化の方法についてはさらに検討する必要がある。
- この調査を行なうにあたり、愛知県三河湾務所および三重県港湾課の御協力をいただいた。ここに謝意を表わす次第である。



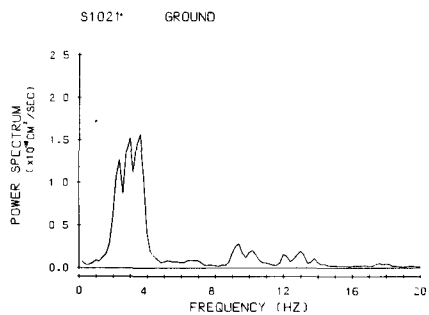


図.4 パワースペクトル (豊橋、地震)

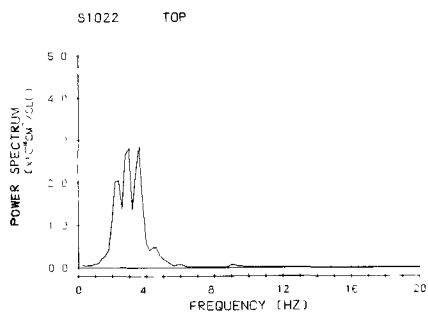


図.5 パワースペクトル (豊橋、堤頂)

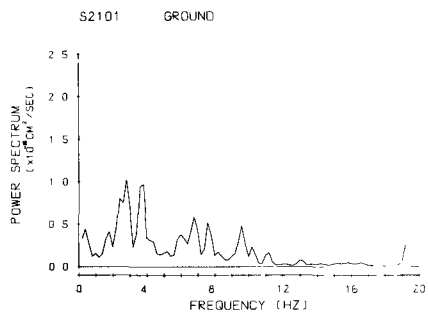


図.6 パワースペクトル (高須、地震)

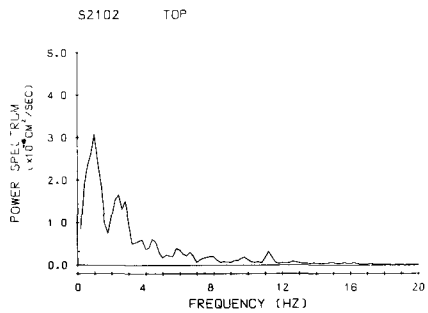


図.7 パワースペクトル (高須、堤頂)

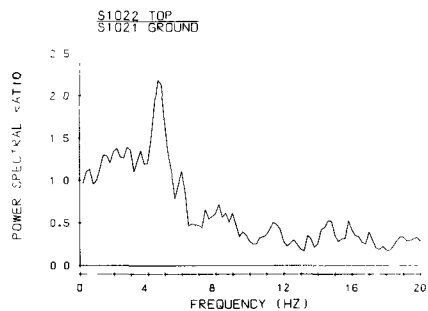


図.8 パワースペクトル比 (豊橋)

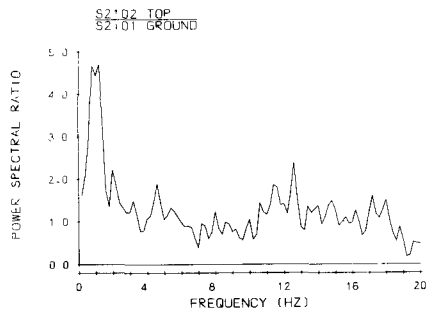


図.9 パワースペクトル比 (高須)