

(10) 港湾における高密度強震観測

運輸省港湾技術研究所	野田節男
同 上	倉田栄一
同 上	土田 肇

1. まえがき

構造物の長大化や新形式構造物の出現に伴ない、地震動の特性や地盤の挙動を考慮した耐震設計の重要性が一層高まっている。しかし、臨海部の地盤は軟弱で厚い粘性土からなっている場合が多く、その地震時の挙動は複雑であり不明な点が多い。それ故、運輸省港湾技術研究所では、軟弱な表層地盤の地震時挙動を把握するために、東京湾沿岸の数地点において地表及び地中に複数個の強震計を配した高密度観測を実施してきたが、より精度の高い情報を収集する目的で、3次元的に強震計を配したArray観測システムを新たに整備した。以下にこれらの観測システムの概要と最近得られた1, 2の記録について報告する。

2. 港湾技術研究所によるArray観測

港湾技術研究所では図-1に示すように東京湾沿岸において以下のような3種類のArray観測を実施している。1) 鉛直1次元Array観測—図-2(a)のように、地盤の地震動増中特性を把握するために、地表、地中、基盤に強震計が設置されている。昭和42年度より観測を開始しており、現在も観測を継続している地点は図-1中の又里、辰乙、船橋の3地点である。

2) 水平・鉛直2次元Array観測—沈埋トンネル等の線状設け構造物の耐震性を検討する目的で、図-2(b)に示すような観測システム(測線長2500m、地表に500m毎に6台及び、地中に2台の地震計を設置)を羽田空港内に整備し、昭和49年度より観測を継続している。昭和56年度より八丈島空港にも同様なシステムを設置する予定である。

3) 3次元Array観測—軟弱地盤に発生する加速度やひずみをより精度良く観測するために、図-2(c)に示すような観測システムを横浜港大黒地区に整備し、昭和55年度より観測を開始した。本システムの概要は次章に示す。

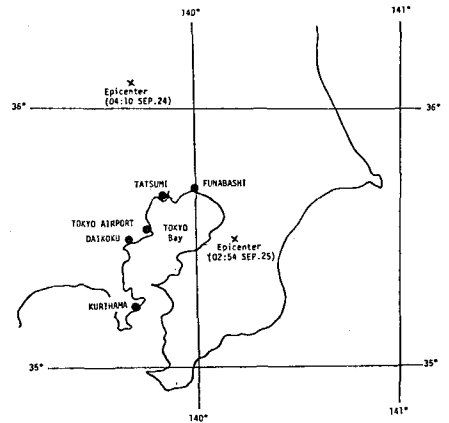


図-1 高密度強震観測地点(港湾技術関連)

3. 横浜港大黒地区における高密度強震観測

1) 観測地点—大黒地区は、図-3に示すように、横浜港の北端に位置しており、鶴見川の河口部を埋立てて築造された人工島の中にある。観測網は、図-4に示すように、この埋立地内の大黒ふ頭中央公園内に配置されている。観測地点の地盤構成の概略は、図-5に示されている。すなわち、表層部は最近の数年間に埋立てられた人工地盤であり、N値が6程度の中程度の砂質土から成っている。その下方は、30~40mの厚さの非常に軟弱な沖積の海成粘土であり、そのN値はほとんど0である。その下方には、砂質土、或は粘性土から成る沖積層が存在

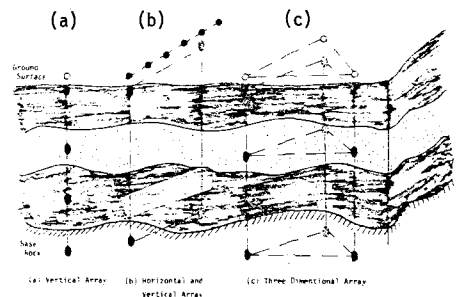


図-2 高密度強震観測の種類

する。標高35~55m以深には、第三紀に堆積した安定した泥岩層がある。以上のように、厚い軟弱粘土層及び埋立土から成るこの地点の地盤構成は、典型的な臨海部の地盤の一例である。図-6は、この地点におけるボーリング調査結果の一例である。速度検層によると、沖積粘土層及び泥岩層のせん断波伝播速度は、各々75~90 m/sec、及び600 m/secであり、この地区ではこの泥岩層を基盤とみなして良いと考えられる。

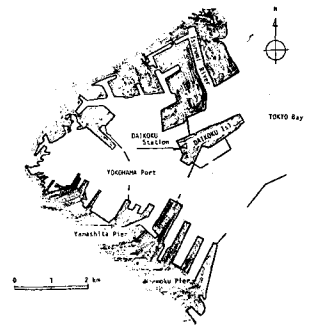


図-3 横浜港大黒地区

2) 地震計の配置 大黒地区における地震計の平面的な配置状況を、図-4に示す。観測点はA~Cの3点で、辺長が205、150、127mの三角形を構成している。地震計は、図-5に示すように、地表部、沖積粘土層の中間部、及び泥岩部の三層に設置されており、総数は9台である。

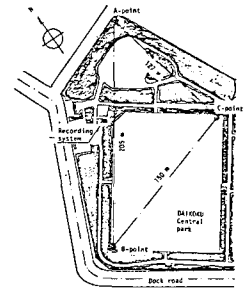


図-4 強震計平面配置

3) 観測機器 強震計は3成分の加速度型換振器で、直径9cm、長さ57cmのアルミ製円筒に収納されている。水平成分の方位は、東西及び南北方向に調整されており、地震計からの出力は電磁オンログラフに記録する。スターターの感度は3Galで記録の感度は自動感度切換装置により適宜選定される。絶対時刻は、精度±10⁻⁸の水晶時計により刻時されるが、この時計は24時間毎にNHKの時報により自動的に校正される。大黒地区における換振器及び記録器を含めた観測システム全体の感度特性は、観測振動数0.2~40Hzの範囲内で感度低下率が10%以内である。

4. 観測結果

鉛直1次元Array観測における地表加速度が約60 Gal以下の記録によると、軟弱な沖積粘土からなる表層地盤の地震時挙動は成層地盤に対する重複反射理論でかなり説明できることが示された。^{1,2)} また、鉛直2次元Array観測の結果から、2500m程度の測線においては基盤より伝わる地震波はほぼ同位相であり、PS検層によるVsを用いた地盤モデルの重複反射理論による周波数応答関数は、地表及び基盤の観測記録より求めたものと良好な対応を示すことが明らかにされている。^{3,4)} それ故、以下には新設された3次元Arrayにより得られた記録の一例を示し、東京湾沿岸に分布する各観測点で得られた記録を比較する。

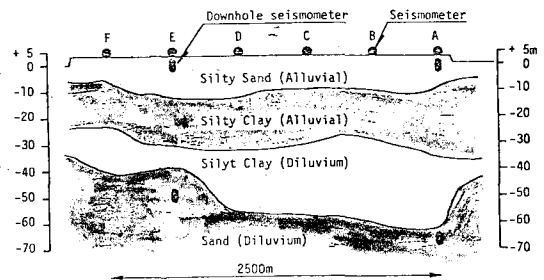


図-5 強震計鉛直配置と地盤構成(大黒地区)

大黒地区の観測は昭和55年9月より始まり、昭和56年1月までに10回の記録が取得されている。ここでは、昭和55年9月24日に茨城県南部に発生した地震(M=6.0、震源深さ60km)、及び昭和55年9月25日に千葉県中部に発生した地震(M=6.1、震源深さ70km)について述べる。

1) 大黒地区における地盤内の加速度とひずみ 千葉県中部の地震では、東京湾周辺の各地でかなり大きな震動が観測された。特に東京空港では200Galを越える加速度が地表で観測され、航空機格納施設の窓ガラスが100枚以上破損した。この時、大黒地区のA、B点で

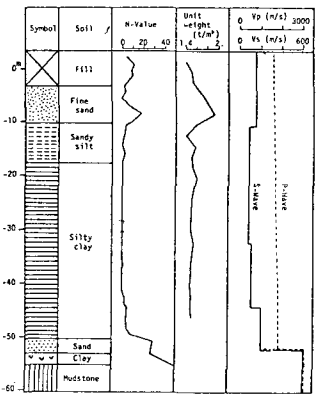


図-6 地盤条件(大黒地区B地点)

記録が得られたので、図-7にB点における波形を示す。一方、茨城県南部部の地震では、沿岸各地であまり大きな加速度を生じていないもの、観測点の全てで記録が得られている。それ故、各点の最下層の記録を用いて基盤における地震波のスペクトル特性を比較したのが図-8である。上層地盤の地質が幾分異っているとはいえ、スペクトルの形状はかなり似ている。基盤、中間層及び地表部のA、B、C点で囲まれる面内のひずみの概略値が、観測網を有限要素法で用いる三角形要素とみなして、加速度記録を積分して得た変位波形を適用して計算した。茨城県南部部の地震における地盤の伸縮ひずみ(ϵ_x, ϵ_y)及びせん断ひずみ(γ_{xy})を図-9に示す。伸縮ひずみは地表で $1.4 \sim 1.8 \times 10^{-5}$ 、基盤で $0.4 \sim 0.5 \times 10^{-5}$ であり、せん断ひずみは各々 2.8×10^{-5} 及び 0.7×10^{-5} 程度である。この地震による地表及び基盤での水平方向の最大加速度は、おおむね $13 \sim 15 \text{ gal}$ 、及び $6 \sim 8 \text{ gal}$ である。千葉中部の地震で生じた地中のひずみは、茨城県南部部の地震の場合の4~5倍であったと推定された。

2) 東京湾沿岸における基盤加速度と変位 — 千葉県中部の地震について、図-1の各観測点の基盤における加速度波形を、絶対時刻を合わせて図-10に示す。東京空港における最大加速度が非常に大きく、ほぼ等しい震央距離にある辰巳地点の値はかなり小さいことから、この地震においては、震央距離の増加に伴い基盤の最大加速度が単純に減けするとは言えず、震源における発震機構や地震波の伝播経路の特性が反映されているものと推定される。

最大振中の波がせん断波であると見れば、図-10中の震央距離と最大振中波の到達時刻とから東京湾周辺の基盤層の中のせん断波の伝播速度が推定できる。ここでは、せん断波速度はおおよそ 4 km/sec となっている。

各地点の基盤における加速度波形のフーリエスペクトルを示す図-11によると、この地震における基盤での地震動は、 $1 \sim 3 \text{ Hz}$ の振動数の成分が卓越している。図-12は、基盤における変位波形から、各観測地点の水平面内の軌跡を描いたものである。図によると、各地点とも、東西方向ないし北西-南東に大きな変位が生じている傾向が認められる。この事は、この地震における発震機構の特徴を反映しているのではないかと推測される。

参考文献

- 1) 荒井秀夫, 岩渕守義: 地盤内の地震動分布に関する研究(第1報), 港湾技術研究所報告, 第12巻, 第2号, 1973年
- 2) 荒井秀夫, 春藤節文: 防潮施設基礎地盤における地中地震動観測, 港湾技研資料, NO. 215, 1977年
- 3) Hajime Tsuchida and Eiichi Kurata : Observation of Earthquake Response of Ground with Horizontal and Vertical Seismometer Arrays, Proc. of 4th JEES, Nov. 1975

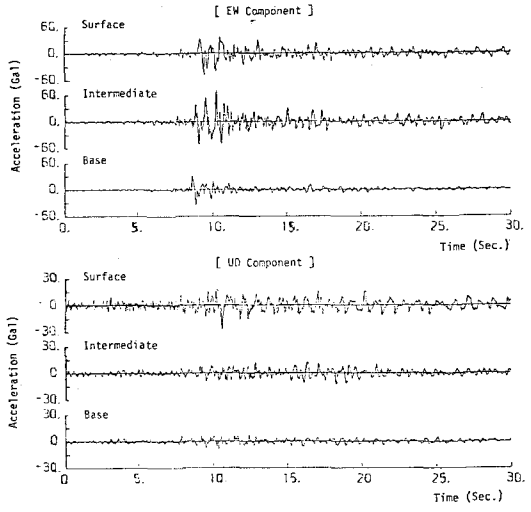


図-7 加速度波形(1980年9月25日千葉中部の地震)大黒地区B地点

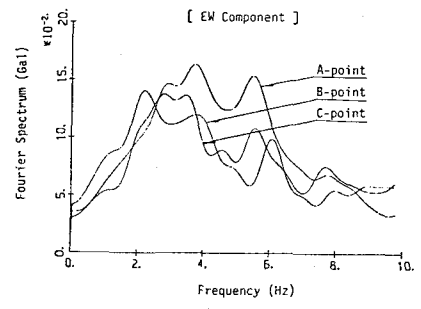


図-8 フーリエスペクトル(基盤の加速度波形、1980年9月24日の地震)

4) Hajime Tsuchida, Satoshi Noda, Susumu Iai, and Eiichi Kurata : Observation of Earthquake Response of Ground with Horizontal and Vertical Seismometer Arrays (2nd Report), Proc. of 7WCEE, Vol.2, 1980

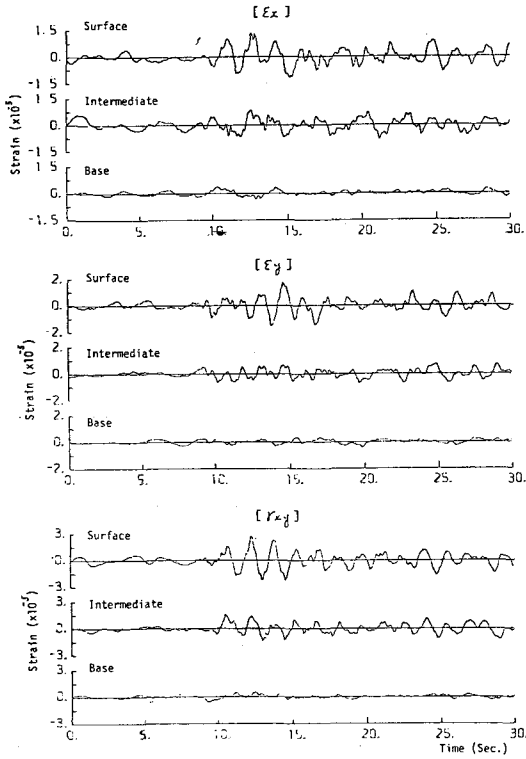


図-9 地中のひずみ(大黒地区, 1980年9月24日茨城県南西部の地震)

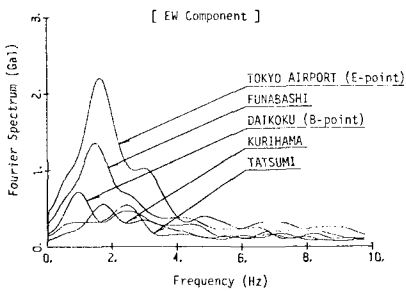


図-11 フーリエスペクトル(基盤の加速度波形, 1980年9月25日千葉県中部の地震)

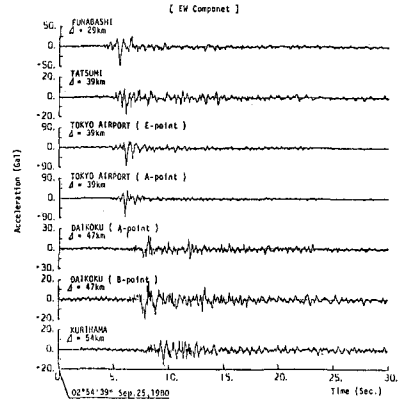


図-10 基盤における加速度波形(絶対時刻歴)(1980年9月25日千葉県中部の地震, 東西成分)

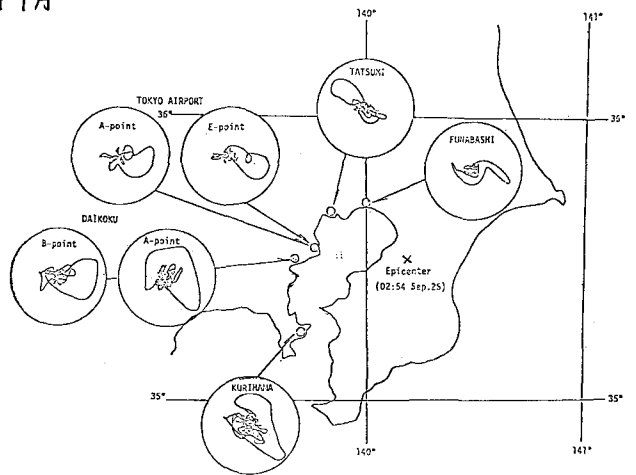


図-12 基盤の変位軌跡(1980年9月25日千葉県中部の地震)