

(31) 高密度アレー観測より求めた地盤のひずみについて

運輸省 港湾技術研究所 正会員 宮田 正史、井合 進、
森田 年一、佐藤 幸博
同 第二港湾建設局 塩見 雅樹、金沢 寛

1. はじめに

空港滑走路等の線状構造物の耐震性には、地震時に発生する地表面のひずみが大きな影響を与える。実際に地表のひずみを観測することを目的として、現在羽田空港の新A滑走路において高密度地震アレー観測を行っている。今までの観測結果より、羽田空港における実体波と表面波の伝ぱん特性が明らかにされた^{1) 2)}。

本研究では新たに取得された記録の整理とともに、地表面の記録を用いて実際の地震時に滑走路表面に生じるひずみの大きさを求め、これらの結果をもとに若干の考察を加えた。

2. 観測概要

2. 1 地震計アレーと地盤条件

観測は、羽田空港の新A滑走路周辺において実施されている。地震計アレーの平面図を図-1に、地震計アレーの断面および土層断面を図-2に示す。地盤中に設置した計器の数は、強震計40台、間隙水圧計24台である。観測地点は、滑走路平行方向および直角方向に十字形に配置されており、計8地点である。各観測地点には、深度方向に地表面、沖積砂層、沖積粘性土層、工学的基盤層に各1台、計4台の強震計が、また沖積砂層には3台の間隙水圧計が配置されている。さらに各地点共通の強震計に加えて、観測システムの十字形の中心部の観測点No.5、No.7の周辺の地表面には、各4台、計8台の強震計がより高密度に配置されている(計測器の間隔は約20m~90m)。本研究では、地表面の計器によって得られた記録のみを使用した。なお、各観測地点においてボーリング調査が行われている。地盤条件の詳細は、文献¹⁾に詳しい。

2. 2 取得記録

当地震計アレーは1988年より観測を開始し、1995年1月8日現在までに、計65地震の記録が得られた。記録が得られた地震のうち、今回使用した記録の一覧を表-1に示す(33地震)。なお、地震の諸元は、気象庁発行の地震月報による。

得られた記録は、マグニチュードが5前後の小規模の地震のものが多い。マグニチュードが大きい地震としては、1993年1月15日の釧路沖地震、1994年10月4日の北海道東方沖地震等の記録が得られている。

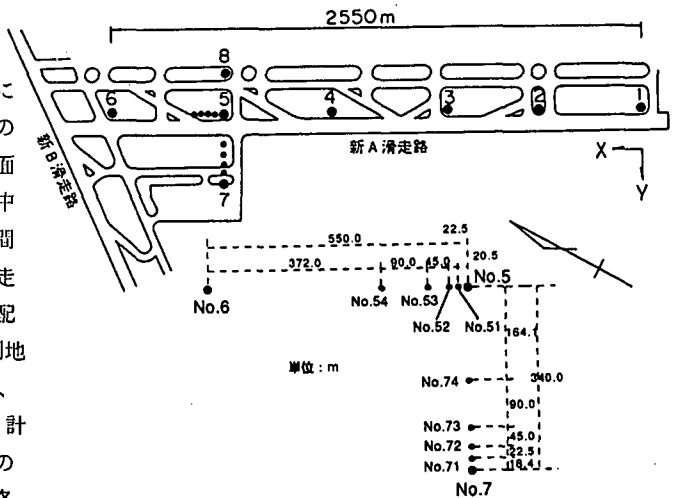


図-1 地震アレーの平面図

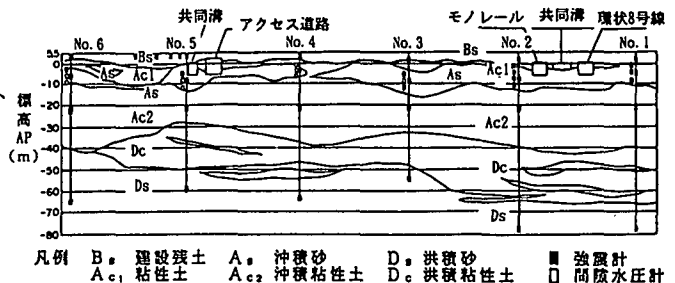


図-2 地震アレーの断面と土層断面

3. 観測結果

地表面のひずみを求めるにあたって、今回は地震波の進行方向や主ひずみ面は考慮せず、単純に最も近い観測2点間を結ぶ軸方向の変位の差(相対変位)を2点間の距離で除した値を軸ひずみと定義した。同様に、2点を結ぶ軸と直交方向(水平面内)の相対変位を2点間の距離で除した値を水平方向せん断ひずみ、鉛直方向の相対変位を2点間の距離で除した値を鉛直方向せん断ひずみと定義した。

3. 1 観測波形

地震No. 15の際に観測点No. 5の地表で得られた滑走路方向の加速度時刻歴、速度時刻歴、変位時刻歴、および観測点No. 5とNo. 51の2点間の相対変位から得られた軸ひずみを図-3に示す。地震No. 15はラブ波が生じていることが確認されているが²⁾、このような表面波が卓越する地震波の場合には、地表のひずみは加速度は小さいが地震波の周期の長い部分で最大となる。

一方、表面波が顕著でない地震No. 5の加速度時刻歴、速度時刻歴、変位時刻歴および観測点

No. 5とNo. 51の2点間の相対変位から得られた軸ひずみを図-4に示す。地震No. 5の場合、最大加速度が生じている付近でひずみは最大となる。また最大加速度は地震No. 15より大きい、ひずみは小さい。

表-1 地震記録の一覧

地震番号	震源地名	震源深さ(Km)	震央距離(Km)	マグニチュード(M)	地表最大加速度(Gal)
1	山梨県近郊	30	72	5.6	14.0
2	銚子市近郊	36	128	5.8	6.3
3	埼玉県西部	15	67	5.0	16.8
4	房総半島南東沖	75	65	5.1	25.4
5	茨城県南東部	55	55	5.6	37.8
6	銚子市近郊	56	87	6.0	12.9
8	千葉県中部	78	33	4.6	21.0
9	千葉県中部	78	26	4.7	20.1
10	伊豆大島近郊	21	84	5.7	13.4
15	伊豆大島近郊	58	100	6.5	15.8
17	福井県西部	368	375	6.4	5.0
20	銚子市近郊	59	88	6.0	13.8
21	神奈川県	123	52	5.4	13.8
26	箱根地域	14	72	5.1	10.0
27	房総半島九十九	50	61	5.4	48.0
28	房総半島九十九	50	61	5.2	24.0
31	千葉県中部	77	41	4.6	22.5
34	長野県東部	188	149	5.4	14.4
36	銚子市近郊	43	129	5.9	6.5
38	三宅島	33	223	6.3	2.9
39	千葉県北部	79	37	4.9	13.2
43	千葉県中部	81	24	4.9	44.4
45	東京湾	93	34	5.9	133.7
47	東京湾	89	22	4.9	26.9
49	東京湾	92	39	4.8	30.9
50	茨城県沖	47	182	5.7	3.8
51	釧路沖	107	903	7.8	9.3
52	日本海中部	489	626	6.9	4.5
53	茨城県南西部	61	57	5.4	18.3
55	東海沖はるか沖	388	417	7.1	26.9
58	千葉県南部	60	66	5.2	15.0
59	宮城県沖	42	1101	6.0	2.3
61	北海道東方沖	30	419	8.1	13.0

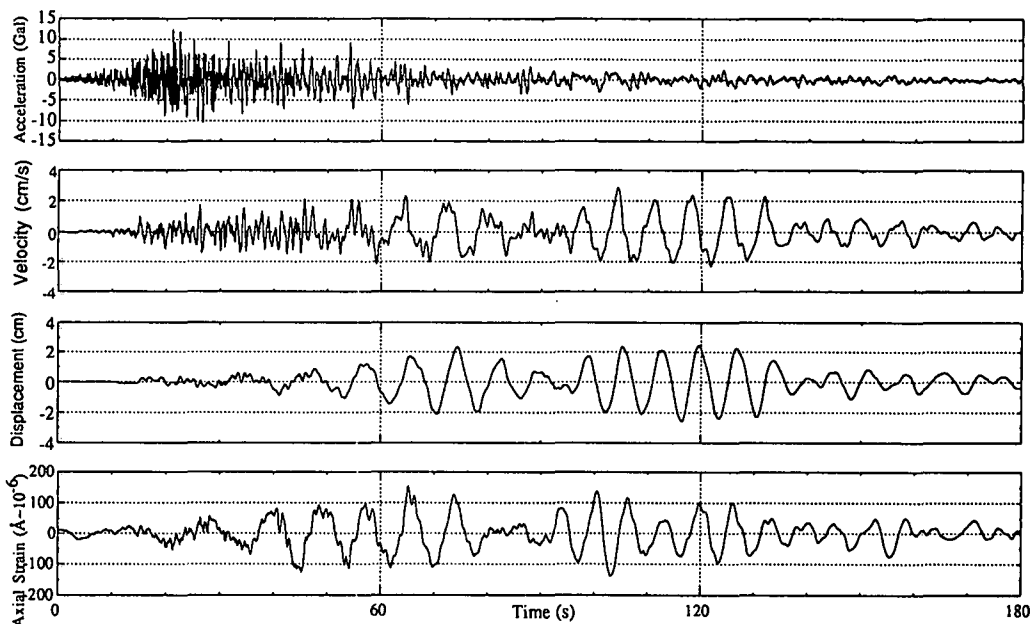


図-3 加速度・速度・変位の時刻歴(観測点No. 5)

と軸ひずみの時刻歴(観測点No. 5-No. 51) <地震番号No. 15>

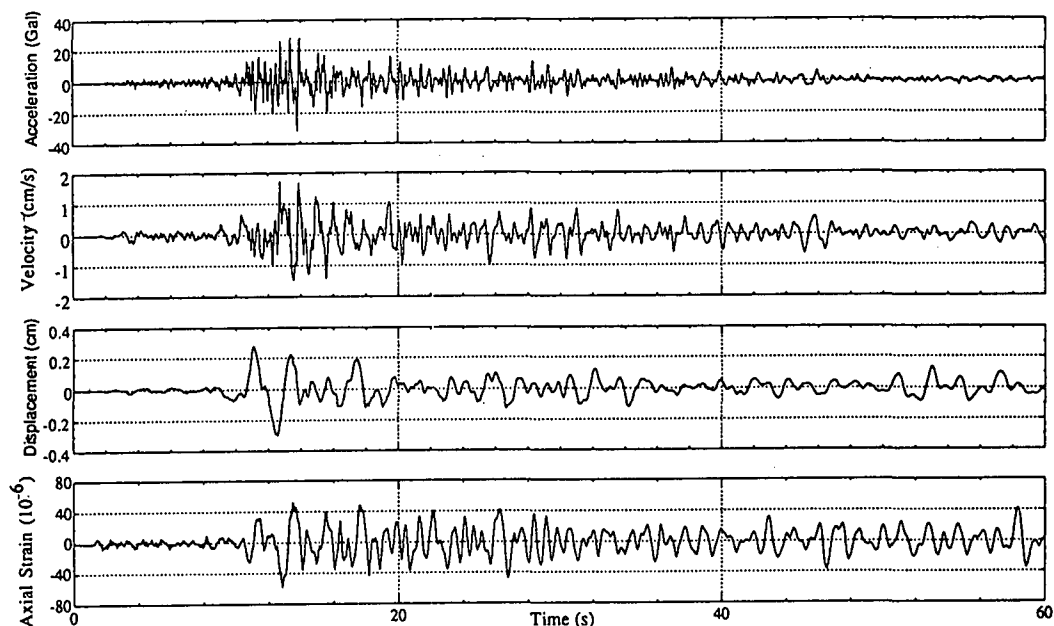


図-4 加速度・速度・変位の時刻歴（観測点No. 5）
と軸ひずみの時刻歴（観測点No. 5-No. 51）（地震番号No. 5）

3. 2 観測距離とひずみ

ひずみの算定に用いる観測2点間の距離と、2点間の相対変位より得られた最大軸ひずみの関係を図-5に示す。地震波形は地震No. 5と15のものを使用した。図より2点間の距離が20～100m程度と小さいと、算定されるひずみは大きくなり、逆に2点間の距離が100～500m程度と大きいと、算定されるひずみは小さくなる傾向にある。2点間の距離によって算定されるひずみの最大値が変化する要因は、表層の地盤が一様であると仮定すると、①実体波の位相差、②基盤への入射波の空間的ばらつき、③表面波の伝ぱん等が挙げられる。しかし、図-5の結果は実体波・表面波それぞれが卓越する両地震波に共通して見られる傾向であるため、上記の①と③の可能性は小さい。また、他の原因としては、④地盤の空間的な不均一性、⑤地盤構造の急変部の影響（構造物等の影響も含む）等が挙げられる。

従って、最大ひずみが距離によって変化する要因は、②と④および⑤である可能性が大きい。

今回得られた最大ひずみは、距離が小さい2点間（20m程度）から得られたものが大半を占める。特に、②の基盤入射波もしくは④の地盤の空間的不均一性を代表する長さスケールがひずみの算定に用いる2点間の距離（例えば数10m）と同程度であると、その2点間の相対変位から求めたひずみは、これより長い距離に位置する2点から求めたひずみより大きくなる可能性がある。これらを踏まえると、地表地盤のひずみを求める際の2点間の距離と、基盤入射波および地盤の空間的な不均一性の関係について、今後さらに慎重な検討が必要である。

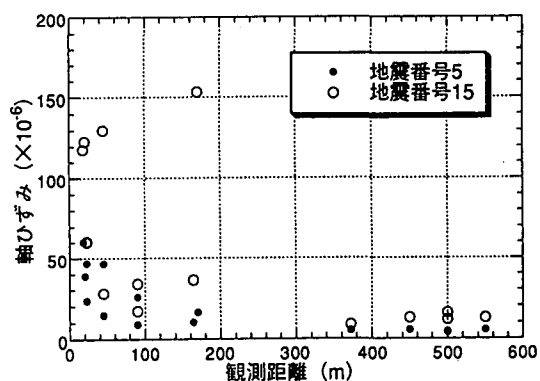


図-5 軸ひずみと観測距離の関係

3.3 ひずみとマグニチュードの関係

図-6に最大軸ひずみと地表最大加速度の関係、マグニチュードをパラメータとして示す。同様の関係を最大水平方向せん断ひずみ、最大鉛直ひずみについて図-7、図-8に示す。

これらの図を見ると、地表最大加速度の増大に伴い、地表の各ひずみも増加していることがわかる。また、地表面の最大加速度が同程度であっても、マグニチュードが大きい地震の際に生じるひずみの方が、マグニチュードの小さい地震の際に生じるひずみより大きくなる傾向にある。また、マグニチュードが大きい場合、ひずみのばらつきは大きくなる傾向にある。これらの結果は、田村³⁾らによる沈埋トンネルに発生するひずみの観測結果と同様な傾向を示している。

一方、マグニチュードが大きいにも関わらず、ひずみの小さいデータが存在する。これは、地震の震源が深いために表面波が顕著に現れず、ひずみが小さい値に抑えられたと考えられる。

4. まとめ

本研究では羽田空港新A滑走路におけるアレー観測より得られた地表面の記録より、実際に地表面に生じたひずみの大きさを求めた。この結果より、以下のことが明らかになった。

(1) 実体波の卓越する地震波では加速度の大きい時刻付近で、ひずみは最大となる。一方、表面波が顕著である地震波では、地震波の周期の長い部分でひずみは最大となった。

(2) 算定されたひずみと地表面最大加速度の関係は、田村³⁾らによる沈埋トンネルにおけるひずみの観測結果と同様な傾向を示した。

(3) 算定されるひずみの大きさは、観測2点間の距離によって変化する。羽田新A滑走路の場合、2点間の距離が小さくなると、算定される地表のひずみは大きくなる傾向になった。これは、地盤条件や基盤への入射波の空間的不均一性、もしくは局所的な地盤条件の変化の影響(急変部等)が要因であると考えられる。これに関しては、今後さらに検討を行いたい。

<参考文献>

- 1) 運輸省港湾技術研究所：東京国際空港での高密度強震観測、第24回空港工事報告会資料、1989
- 2) 運輸省港湾技術研究所：空港滑走路における地震時の表面波の挙動、第25回空港工事報告会資料、1990
- 3) C. Tamura, S. Okamoto, and K. Kato: Earthquake Observations of Tunnels in the Soft Ground, Proc. of 5-NSEE., 1978.

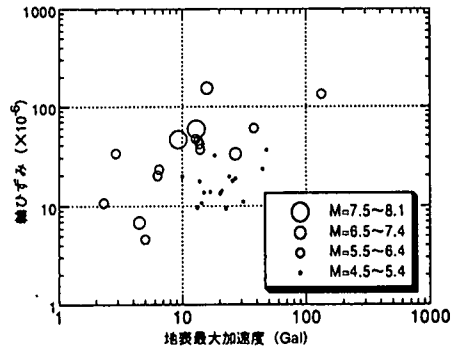


図-6 軸ひずみと地表最大加速度

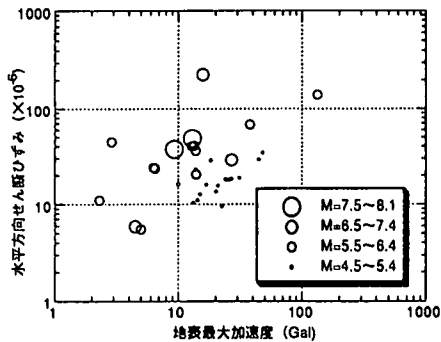


図-7 水平方向せん断ひずみと地表最大加速度

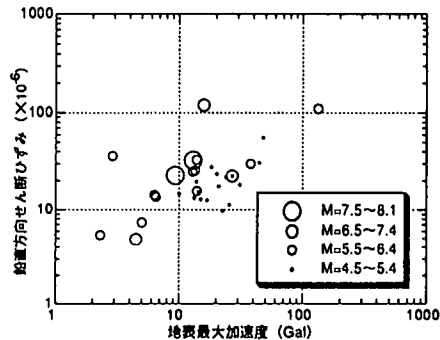


図-8 鉛直方向せん断ひずみと地表最大加速度