

(13) 不整形地盤の振動特性が埋設管に及ぼす影響について

東京ガス(株)技術研究所 正員 ○安藤広和 佐瀬 毅

1. はじめに

ガス導管などの埋設管の耐震性を評価するためには、丘陵部を切り崩し、谷部を埋め立てた造成地盤などの不整形地盤における埋設管の地震時挙動を明らかにすることが特に重要な課題である。そのため、このような地盤を有する東京都多摩ニュータウンにおいて1986年4月から'89年1月まで地震観測を行った。観測された地震記録をもとに、不整形地盤の振動特性およびそれが埋設管に及ぼす影響について報告する。

2. 観測体制および地盤性状の概要

2-1. 観測体制

Fig.1に示すように、造成された原地盤と盛土地盤を横断するように、溶接鋼管(呼び径100A)を埋設した。両端部には、実際に埋設されているガス導管に相似させるため、同口径鋼管をT字型に溶接した。図に示すように、管体には7ヵ所にひずみゲージと4ヵ所に加速度計を、地盤には原地盤と盛土地盤の基盤および表層(GL-1.2m)にそれぞれ2ヵ所ずつ加速度計を設置した。

2-2. 地盤性状

Fig.2に地盤性状および各土層のせん断波速度を示す。原地盤(No.1地点)では、地表面下8~9mまでが砂礫層、その下がシルト質の砂層となっている。N値は砂礫層において10~27、砂層に入って30~40であり、深度が増すにつれて徐々に大きくなる傾向をもつ。盛土地盤(No.6地点)では、上部から盛土(ローム主体)、岸錐性ローム、腐食土混り粘性土およびシルト質砂の順になっている。N値は腐食土混り粘性土までは8以下、砂層に入って12~35と

漸増の傾向にある。No.6地点で行ったPS検層の結果より、せん断波速度は各土質の層厚による加重平均をとれば、盛土層(GL-13m以浅)で166m/sec、原地盤(GL-13~-30m)で274m/secとなり、両者の差はあまり小さくなく、原地盤は通常考えられている地震基盤($V_s > 300$ m/sec)に比べると多少軟らかめである。重複反射理論および常時微動測定から、盛土地盤の固有振動数は2.6Hz近傍と推定される。

3. 観測結果

観測期間中、最大地盤加速度が

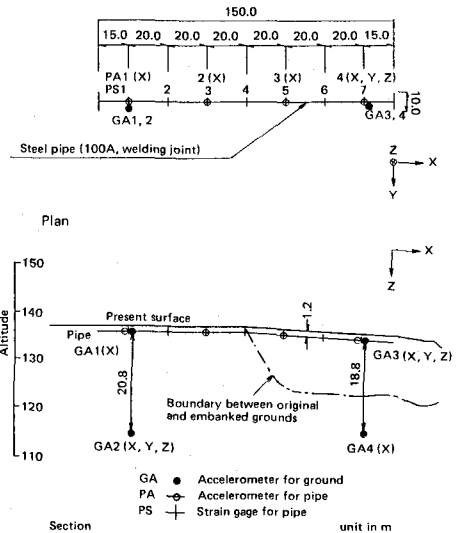


Fig.1 Locations of instrumentations.

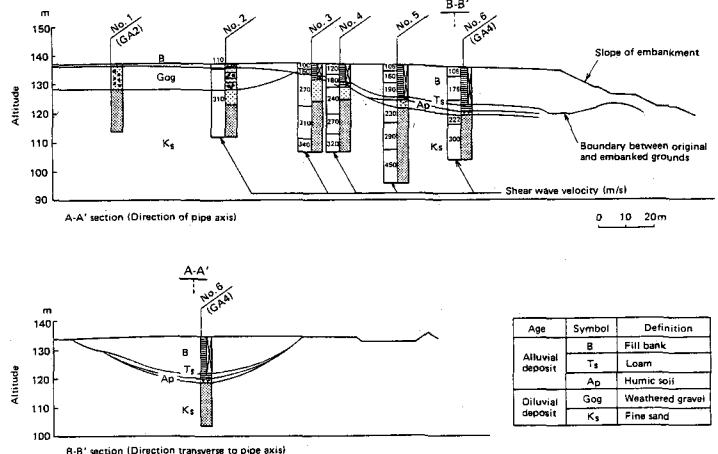


Fig.2 Ground profiles and shear velocities at observation sites.

10gal以上の地震を20件記録した。本報告では、不整形地盤の振動特性および埋設管の挙動の検討は、X方向 (Fig.1参照)の加速度および管体の軸方向に生じるひずみを対象に行う。これは、管体の各点(PS1~PS7)に生じる最大ひずみは軸方向が曲げ方向に比べ約10倍程度と大きく、この原因が同方向の地震動よるという知見¹⁾から併せて判断したためである。

3-1.不整形地盤の振動特性

上記地震記録のうち、'87年12月17日に発生した千葉県東方沖地震、'88年3月18日の東京都東部地震を例にとり、表層での地盤加速度記録(GA1X,GA3X)およびランニングスペクトルをFig.3に示す。両地震とも原地盤(GA1X)と比較して、盛土地盤(GA3X)において地震動は増幅されており、特に主要動部で著しい。最大加速度で比較すると前者は約2.8倍、後者は約2.2倍である。ランニングスペクトルからこの理由が理解される。すなわち、両地震とも原地盤と比較して盛土地盤において、主要動部で2~3Hzの振動数帯域、特に振動数2.6Hzが著しく卓越したためである。この卓越振動数は、盛土地盤の固有振動数と概ね一致する。他の地震に関しても同様の結果が得られた。

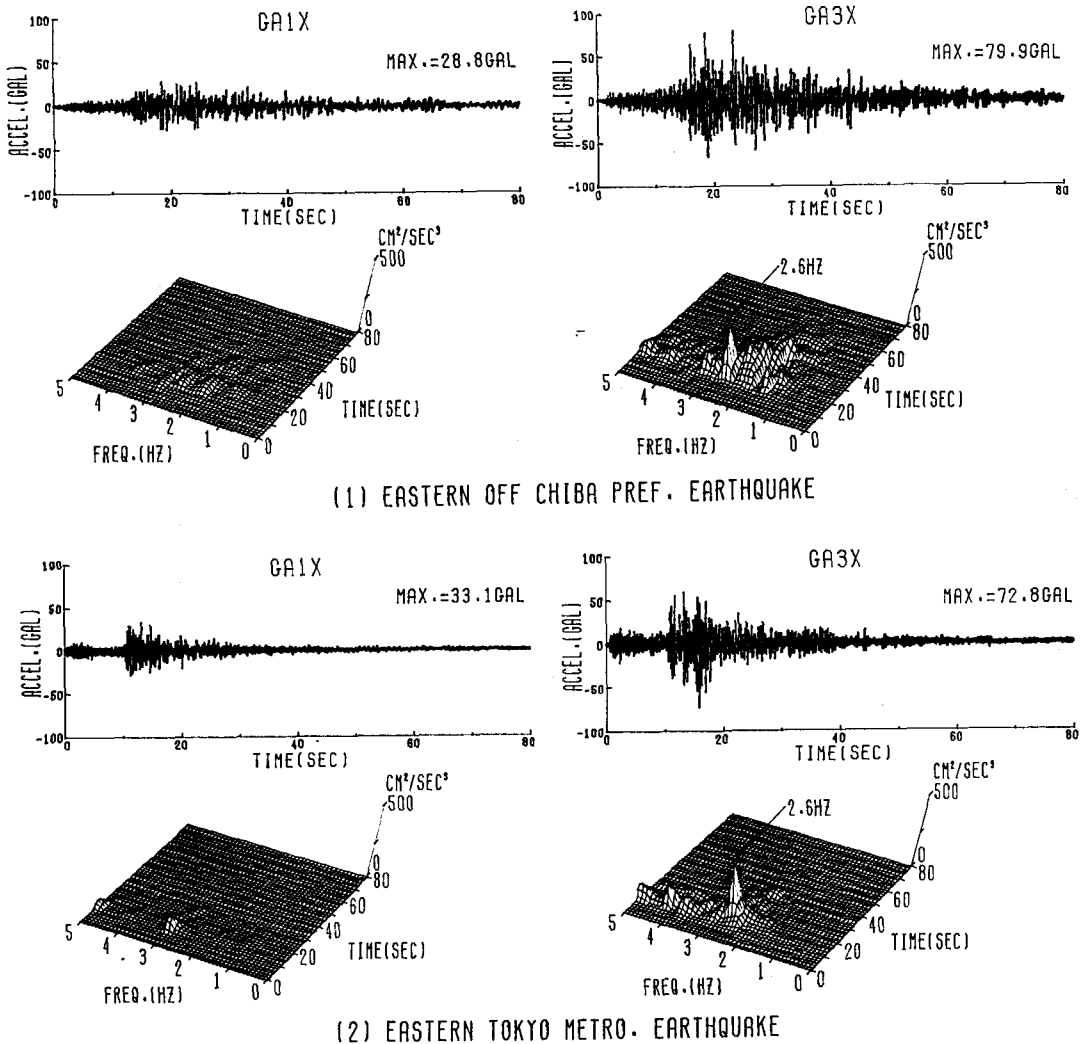


Fig.3 Sample records of ground acceleration and running spectra(GA1X,GA3X).

3-2.地震波の見かけの位相速度

埋設管の挙動に影響を及ぼすと考えられる、盛土地盤における主要動部での地震動の著しい増幅が、鉛直下方から進行するせん断波によることを確認するため、相互相関解析を行った。つまりFig. 4に示す4地点の地盤加速度記録(GA1X, GA2X, GA3X, GA4X)より、鉛直・水平方向の見かけの位相速度を、前半部(主要動部)とそれ以後の後半部に分け調べた。東京都東部地震の結果をTable 1に示す。主要動部(10-30sec)では、水平方向は見かけの位相速度より進行する波は少なく、一方、鉛直方向は見かけの位相速度が地盤調査より得られた平均せん断波速度(原地盤 274m/sec, 盛土地盤 166m/sec)と概ね一致する。したがって鉛直下方から進行するせん断波が卓越していることが分かる。後半部(30-50sec)では、鉛直方向は見かけの位相速度より進行する波は少なく、水平方向は見かけの位相速度より、表面波が卓越していると推定される。他の地震についても、遠距離地震を除いて(主要動部での表面波の混在が原因)、同様の結果が得られた。前節の結果と併せて、主要動部での盛土地盤の地震動の著しい増幅は、せん断波によることが明らかになった。

3-3.不整形地盤の振動特性評価

地震の強度指標としては、一般に最大加速度が用いられる。不整形地盤における地震動の違いを調べるため、得られた20件の地震に関して、原地盤(GA1X)と盛土地盤(GA3X)の最大加速度の関係をFig. 5に示す。加速度が小さい領域(原地盤で20gal程度まで)は線形であるが、大きい領域になると線形からはずれる。これは表層の地盤ひずみが増加し、地盤剛性の低下することが原因と考えられる。さらに、SI値²⁾より同様の比較を行った(Fig. 6)。SI値は減衰定数20%の速度応答スペクトルを地震の卓越周期(0.1~2.5sec)の範囲で平均した値であり、地震エネルギーの平均値と考えられる。SI値は大小に関係なくどの節

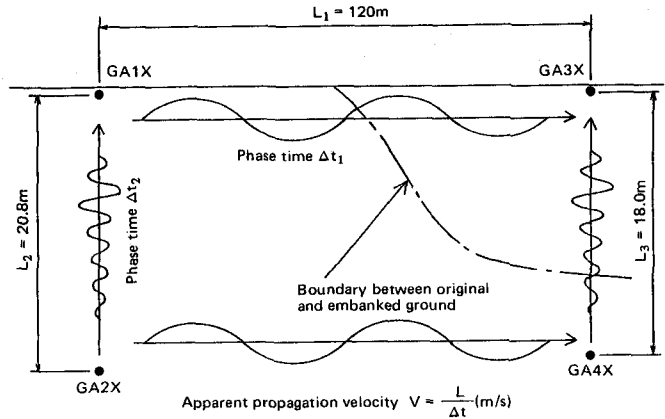


Fig.4 Schematic illustration of cross correlation for ground acceleration among four locations.

Table 1 Apparent propagation velocities of earthquake wave.

First portion (sec)	Horizontal propagation velocity (m/s)		Vertical propagation velocity (m/s)	
	GA3X/GA1X	GA4X/GA2X	GA1X/GA2X	GA3X/GA4X
10-30	(0.04) 3000	(0.06) 2000	(0.06) 347	(0.07) 269
30-50	(0.08) 1500	(0.11) 1090	(0.01) 2080	(0.01) 1880

Note: (): Phase time Δt (sec)

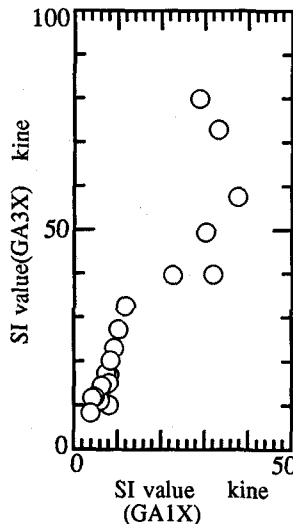


Fig.6 SI values of GA1X and GA3X.

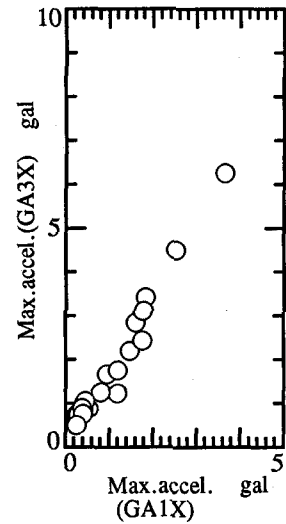


Fig.5 Max. accelerations of GA1X and GA3X.

域でも、ほぼ線形になっている。これは、SI値が上記範囲の速度応答スペクトル平均値であるため、地盤剛性の低下に影響されないためと考えられる。以上より、SI値は地盤構造による地震動の違いを適切に評価すると考えられる。

3-4. 地盤の振動特性が埋設管に及ぼす影響

不整形地盤の不均一な応答が埋設管に及ぼす影響を管体の軸ひずみ記録(PS1~PS7)を用いて考察する。Fig.7に東京都東部地震の軸ひずみ記録(PS1とPS5)を示す。最大軸ひずみは主要動部で記録されていることが分かる。これは同地震の他点及び他の地震に関しても同様である。前述の2地震を含めた4地震に関して、各点の最大軸ひずみの分布(GA3Xの最大値で除して正規化)をFig.8に示す。各点の最大軸ひずみは原地盤ではほぼ同じ値をとる。盛土地盤との境界から原地盤の傾斜に添うように最大軸ひずみは増加し、境界付近のPS5付近でピーク(各地震とも原地盤3地点の平均値の4倍前後)となる。他の地震に関しても同様な傾向がある。これは、前述した主要動部での不整形地盤の不均一な応答により、盛土地盤の境界付近で大きな地盤ひずみを生じるためである。この結果は、'78年の宮城県沖地震で受けたガス導管の被害に関する考察と一致するものである。のり面近傍(PS7)で再度増加する傾向がみられるが、これはのり面近傍の振動特性および鋼管端部におけるT字型配管の影響(慣性力による)と考えられる。

4. まとめ

不整形な地盤では、地震主要動部のせん断波の卓越により、盛土地盤の地震動が著しく増幅される。それにより生じる不均一な応答により、不整形地盤を横断するように埋設された線状構造物は、盛土地盤側の境界付近に大きなひずみを生じる。このことは、宮城県沖地震で受けたガス導管の被害例と一致する。

参考文献

- 1)西尾ら(1982),「丘陵地大規模宅地造成地に埋設された導管の地震時挙動観測」,土木学会第38回年次講演会
- 2)T.Katayama et al.(1986),“Ground Shaking Siverity Detector by Use of Spectrum Intensity”
第7回日本地震工学会
- 3)安藤ら(1990),「埋設管の地震時挙動に関する研究(第6報)」,東京ガス(株)技術研究所報告 第35号
- 4)安藤ら(1991),「地震時に不整形地盤が埋設管に及ぼす影響について」,土木学会第46回年次講演会

(連絡先)東京ガス(株)技術研究所 東京都港区芝浦1-16-25 TEL 03-3452-2211

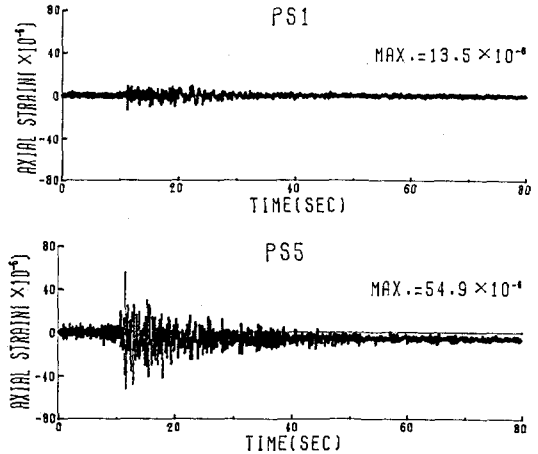


Fig.7 Sample records of axial strain in pipe(PS1,PS5).

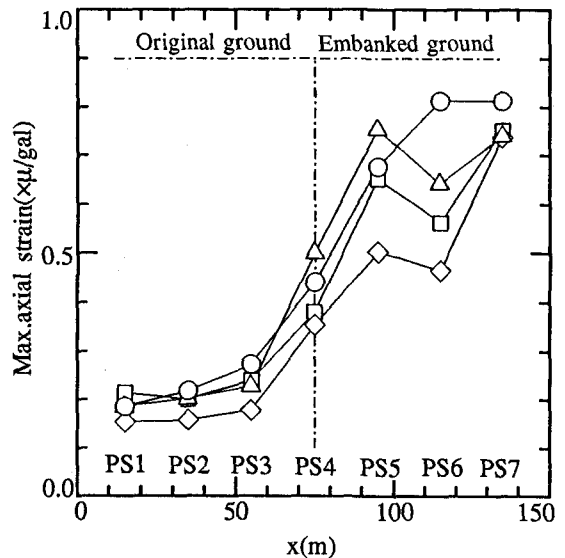


Fig.8 Distribution of max.axial strain along pipeline.