

東電設計(株) 正会員 ○鹿 林、安中 正
東京電力(株) 正会員 安田 登、藤谷昌弘

1. まえがき 地中埋設構造物などの耐震設計で地震時の地盤歪の状態を把握することは重要である。本研究では、福島県東部で実施している地震観測システムの地震記録に基づき地盤水平面内の歪の状態、特に震央、地震動主軸、および地震波伝播方向と最大主歪の方向との関係について検討した。

2. 地盤軸歪 福島県東部で実施している地震観測システム(一部)は、図1に示すように三角形からなる速度計NV1, NV3, NV5および正三角形からなる歪計GH1, GH2, GH3である。観測した地盤歪 $\varepsilon_a(t)$, $\varepsilon_b(t)$ および $\varepsilon_c(t)$ (それぞれGH1, GH2, GH3と対応する)から水平面内直交する座標系(X, Y)での歪状態 $\varepsilon_x(t)$, $\varepsilon_y(t)$ 及び $\gamma_{xy}(t)$ を求められる。また、それを用いて座標系(X θ , Y θ)内の歪状態は

$$\varepsilon_{x\theta}(t) = \frac{1}{2} \left[\varepsilon_x(t) + \varepsilon_y(t) \right] + \frac{1}{2} \left[\varepsilon_x(t) - \varepsilon_y(t) \right] \cos 2\theta - \frac{1}{2} \gamma_{xy}(t) \sin 2\theta \quad (1)$$

$$\varepsilon_{y\theta}(t) = \frac{1}{2} \left[\varepsilon_x(t) + \varepsilon_y(t) \right] - \frac{1}{2} \left[\varepsilon_x(t) - \varepsilon_y(t) \right] \cos 2\theta + \frac{1}{2} \gamma_{xy}(t) \sin 2\theta \quad (2)$$

$$\gamma_{xy\theta}(t) = \left[\varepsilon_x(t) - \varepsilon_y(t) \right] \sin 2\theta + \frac{1}{2} \gamma_{xy}(t) \cos 2\theta \quad (3)$$

で計算される。 θ を0~180°範囲内で変化させ、表1に示した地震での $\varepsilon_{x\theta}(t)$, $\varepsilon_{y\theta}(t)$, $\gamma_{xy\theta}(t)$ を計算した。一例として三陸はるか沖地震での $\varepsilon_{x\theta}(t)$, $\gamma_{xy\theta}(t)$ の最大値と θ との関係を図2に示す。これによると、地震時地盤軸歪の最大値は、方向によりかなり違っていることがわかる。図中一番大きい軸歪は地震時地盤最大主歪である。最大剪断歪と対応する軸歪は最も小さく、最大剪断歪と最大主歪方向の角度は約45°である。これは地震時地盤の変形は純剪断変形に近いことを示す。地盤軸歪には二つの卓越方向があり、この二つの方向の歪は、地震によって両者に大きな差のある場合やほぼ等しい場合がある。これは、地中埋設管などの地震時軸歪がほぼその周辺の地盤歪と同等であるとする、管の埋設方向によっては軸歪がかなり違うことを意味している。また、図2には震央方向と地震動主軸の方向も合わせて示している。図3に示すように各地震の地震動の主軸は震央方向または震央直交方向とほぼ一致しているのに対し、地盤最大主歪の方向はほぼ一定の方向を向いており、震央方向あるいは地震動主軸の方向との関係はほとんど見られない。

3. 地震波のみかけ伝播方向 NV1, NV3, NV5の地震計の記録間の時間ずれから地震波の見かけ伝播方向と伝播速度が求められる。ここで、S波とみなす部分の地震動を用いて震央方向成分、震央方向と直交する成分の見かけ伝播方向および伝播速度を計算した。観測点に対して、表1に示した各地震の震央は、それぞれ南、東、北方面にあるが、地震波の伝播方向は、震央から期待される方向よりも西側にずれる傾向が見られ、波は東向きに伝播する傾向がみられた。一例を図4に示す。この原因は地下構造にある可能性が大きいと考えられる。

4. 地盤最大主歪の方向と地震波伝播方向の関係 地盤最大主歪の方向と地震波伝播方向との差は、図5に示すように一つの地震を除いて、ほぼ45°付近に分布している。つまり、地震波伝播方向での地盤軸歪が最も小さく、伝播方向と45°となる方向での地盤軸歪が最も大きい傾向がみられた。地盤最大主歪の発生する方向は、地震波の伝播方向と一定な関係を持っていると考えられる。

5. まとめ 地盤最大主歪の方向はほぼ一定の方向を向いており、震央方向あるいは地震動主軸の方向との関係はほとんど見られない。また、震源がどこにあっても福島観測地点での地震波のみかけ伝播方向は東向きになる傾向がある。地盤最大主歪の発生する方向は地震波の伝播方向と約45°になる傾向があり、地盤最大主歪の方向がほぼ一定になる原因として地震波の伝播方向がほぼ一定になることが考えられる。

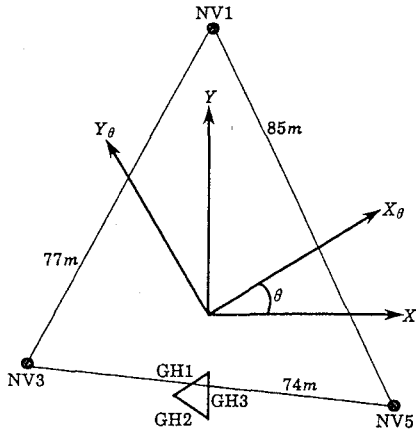


図1 福島県東部に地震観測の計器配置図

表1 検討に用いた地震の諸元

番号	年月日	M	震央距離 (km)	最大速度 (cm/s)	最大歪み (μ)	震央地
1	89.04.28	4.9	47	1.11	26.4	福島県沖
2	89.10.29	6.5	340	0.24	3.6	三陸はるか沖
3	90.02.06	4.7	42	0.85	27.6	福島県沖
4	90.02.12	5.3	102	0.40	6.7	茨城県沖
5	90.06.01	6.0	188	0.21	3.7	千葉県東方沖
6	90.07.04	5.1	164	0.29	4.3	茨城県南部
7	90.07.28	5.2	105	0.27	6.1	福島県沖

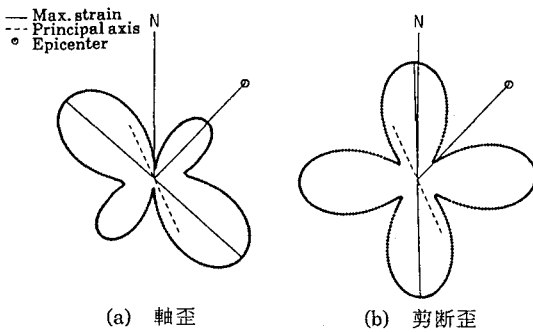


図2 それぞれ方向上地震時最大歪

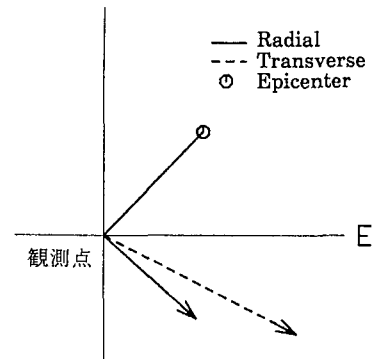


図4 地震波のみかけ伝播方向と速度

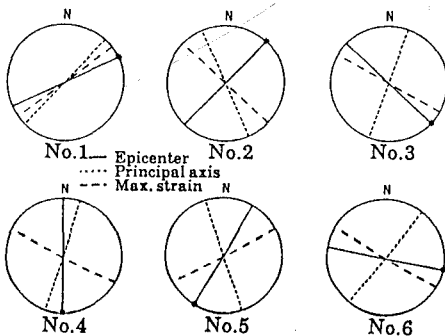


図3 最大主歪、震央、地震動主軸の方向

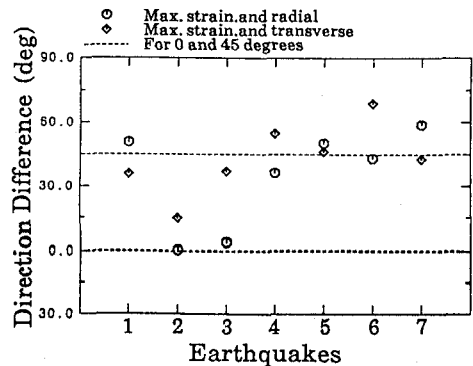


図5 最大主歪の方向と地震波伝播方向の差