

〈第 54 回日本学生科学賞 入選 2 等〉〈第 54 回県学生科学賞 県教育長賞〉

〈第 48 回静岡県高等学校生徒理科研究発表会パネル発表部門 最優秀賞〉

3 平成 21 年 8 月 11 日の駿河湾の地震のアンケート調査による静岡県西部地域の詳細震度

1 動機

2009 年 8 月 11 日午前 5 時 7 分に M6.5 の地震が、駿河湾を震源として発生した。この地震では静岡県内の牧之原市、御前崎市、焼津市、伊豆市で震度 6 弱の揺れを観測した。しかし、場所により揺れに違いがあることがマスコミ報道などにより知られている。そこで私たちは静岡県西部地域において「揺れの強さ」を明らかにするためのアンケート調査を行い、これを調べてみることにした。

2 目的

アンケート調査から詳細な「揺れの強さ」を調べ、震度が場所により異なる原因を調べる。

3 アンケート調査の方法

アンケート票は太田ほか(1998)によって開発されたものを基に、高校生でも答え易く、集計しやすいように工夫し作成した。このアンケート票を相良高校、榛原高校、池新田高校、小笠高校、磐田南高校の生徒に協力してもらい、アンケート票 3,141 枚を配布し、3,001 枚を回収することができた。回収率は 95.5%であった。アンケート震度 (I_Q) は以下の式を用いて算出した。

$$I_Q = \frac{1}{\alpha N_e} \sum_i m_i \cdot \beta_i (m)$$

I_Q : アンケート震度、 α : 条件係数、 N_e : 震度に関する質問項目のうち有効回答数

m_i : 質問項目 i において回答者答えた内容番号 β_i (m) : m_i に対応する震度係数

このアンケート震度を以下の式を用いて気象庁震度階級に変換した。

$$\text{気象庁震度階級} = 2.958 \times (I_Q - 1.456)^{0.547}$$

これ以降、この論文で用いた震度は気象庁震度階級である。

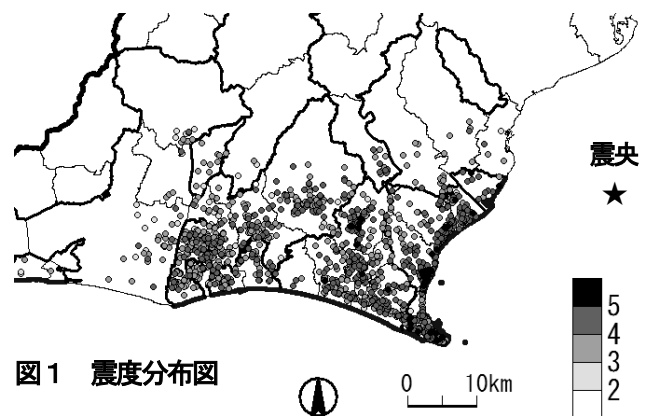


図 1 震度分布図

4 アンケート調査の結果

算出した震度の頻度分布が図 2 で、平均震度は 3.77 だった。また、震度の分布を GIS ソフト「MANDARA」を用いて、表示させたものが図 1 である。図 1 より震度は震央に近いほど大きくなるよ

うに見えることから

仮説1 「震度は震央に近いほど大きくなる」

を立てた。これを確認するために震央距離と震度の関係を示す図3を作成した。図3よりおおそ震央から遠ざかるほど、震度は小さくなっているように見える。しかし、予想に反して震央距離と震度の間には著しい相関がみられなかった。そこで

仮説2 「震度は地盤により異なる」

という新たな仮説を立てた。

これを確認するため、アンケート票の質問6「その場所の地盤の様子は、次のどれにあてはまると思いますか。」の回答別に震度の頻度分布を示したものが図4と図5である。図より、埋立地や泥炭地の軟らかい地盤の震度は3.92、岩盤や砂利の固い地盤の震度は3.68であり、軟らかい地盤の方が震度は大きいことがわかった。

また、震央距離と震度の関係を示したものが図6と図7である。この回帰曲線を比較すると、回帰曲線の傾きが埋立地や泥炭地では-0.90、岩盤や砂利の地盤では-0.71で、埋立地や泥炭地の軟らかい地盤の方が岩盤や砂利の固い地盤よりも距離に対応する震度の減り方（距離減衰）が大きいことが分かった。

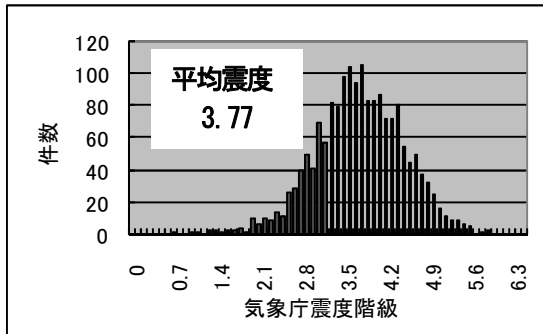


図2 震度の頻度分布

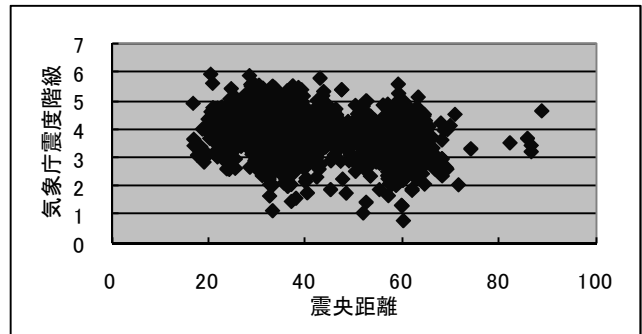


図3 震央距離と震度の関係

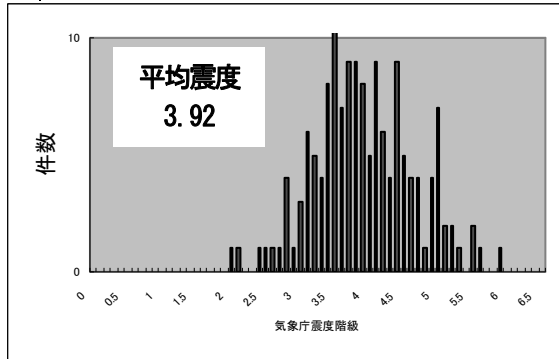


図4 地盤別震度の頻度分布（埋立地や泥炭地の地盤）

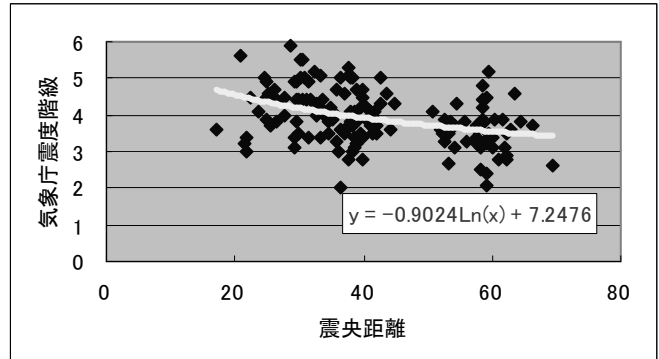


図6 震度の散布図と回帰曲線
（埋立地や泥炭地の地盤）

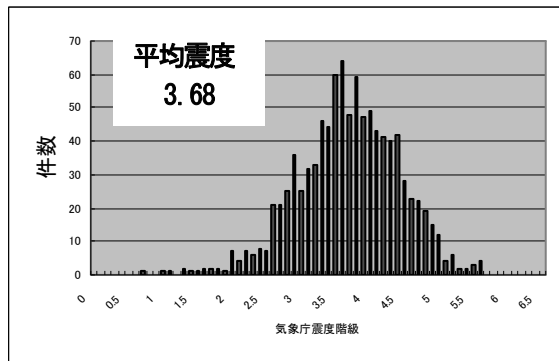


図5 地盤別震度の頻度分布（岩盤や砂利の地盤）

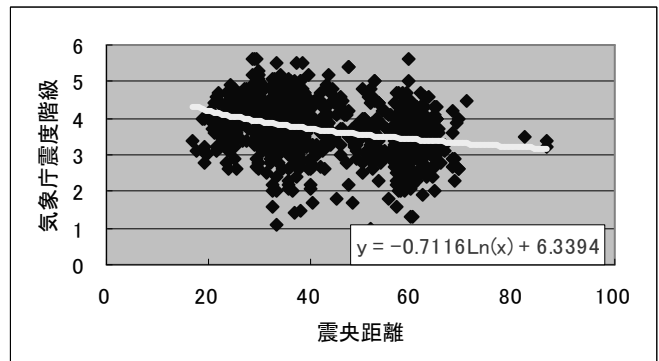


図7 震度の散布図と回帰曲線
（岩盤や砂利の地盤）

5 落下振動実験

アンケート調査でわかったことを確認するために、落下振動実験を行った。方法は重さ 13kg の石を高さ 1.2m から落下させて、地面を振動させて、その揺れを 2m 間隔で換振器を移動させて記録をした (図 8)。実験場所は固い地盤として洪積層の砂礫質地盤からなる磐田南高校グラウンド、軟らかい地盤として沖積層の泥質地盤からなる磐田市大池で行った。図 9 に地質図、図 10 にボーリング柱状図、図 11 に振動波形を示す。図 11 の振動波形から最大振幅と周期を読み取り、最大振幅と落下点からの距離の関係 (図 12) と周期の頻度分布 (図 14) を作成した。

図 12 より最大振幅の平均値は軟らかい地盤の方が固い地盤より大きく、距離による振幅の減衰も軟らかい地盤の方が大きいことが分かった。これはアンケート調査の結果 (図 6・図 7) や中央建鉄株式会社の資料 (図 13) とよく対応している。

一方、周期は図 14 より固い地盤である磐田南高校グラウンドでは短いのに対し、軟らかい地盤である磐田市大池は長かった。

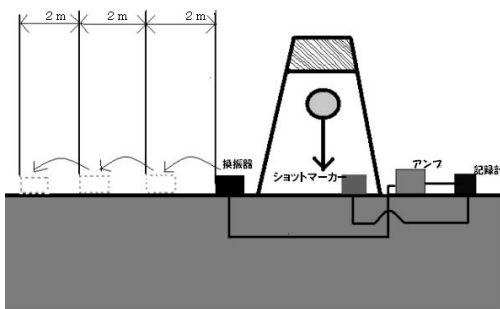


図 8 落下振動実験の模式図

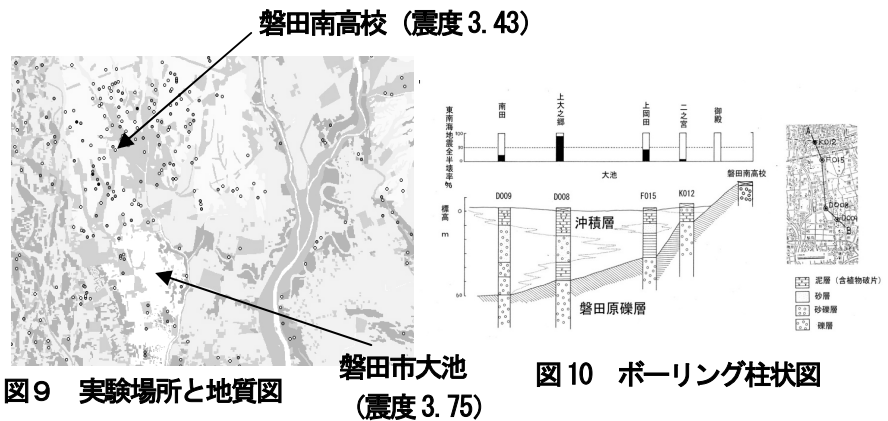


図 9 実験場所と地質図

図 10 ボーリング柱状図

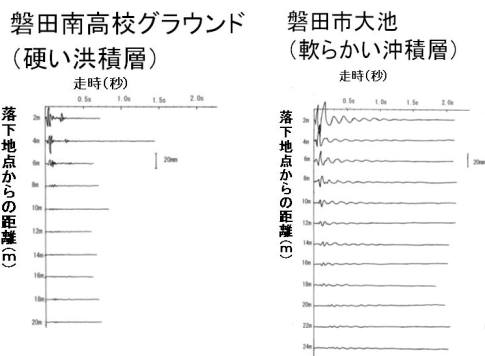


図 11 落下振動実験の記録波形

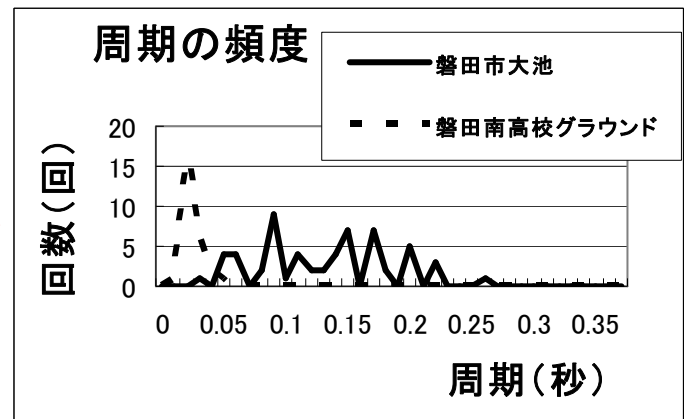


図 14 周期の頻度分布

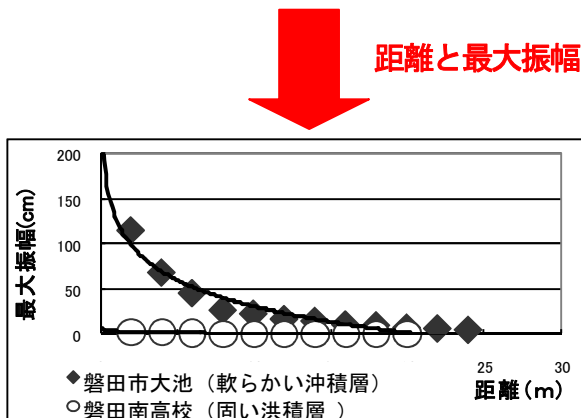


図 12 最大振幅と距離の関係

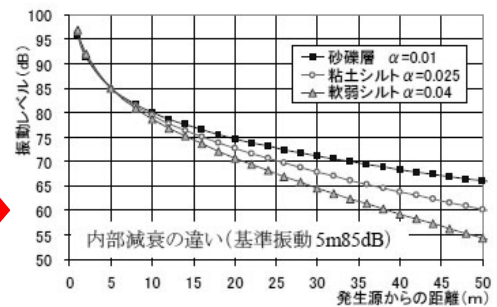


図 13 中央建鉄株式会社技術情報
かわら版 2006 年 10 月号より引用

一般に固い地盤では固有周期が短く、軟らかい地盤では固有周期が長いことが知られている。この結果は、地盤の固有周期と落下振動実験の振動の周期が同期したためと考えられる。

6 震央距離と周期の関係

一般に震央に近いほど地震波の周期が短く、遠いほど周期が長くなることが知られている。そこで、今回の地震でもこの関係が成り立つのかどうか、防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET の地震波形を用いて、震央距離と周期の関係を調べた。観測地点は、震央から近い順に榛原、浜松、名古屋、大阪で 図 15 がその地震波形である。なお、図 15 の各地震波形の振幅は見かけ上ほぼ同じになっているが、これは波形を比較するために縦軸の倍率を変えてあるためで、実際の加速度は図中に示した数値のようにになっている。この地震波形の応答スペクトルが図 16 である。図 16 より震央に近い榛原では周期は短い、震央から離れるにつれて周期が長くなっていることが分かる。

落下振動実験で周期について分かったことと、この震央距離と周期の関係をふまえて、震央から近いところでは、固有周期が短い固い地盤が、短い周期の地震波と同期し、震度が大きくなり、震央から遠いところでは固有周期が長い軟らかい地盤が長い周期の地震波と同期し、震度が大きくなると考えた。

そこで、

仮説3 「震央から近いところでは固い地盤の震度が大きく、震央から遠いところでは軟らかい地盤の震度が大きい」

という仮説を立てた。

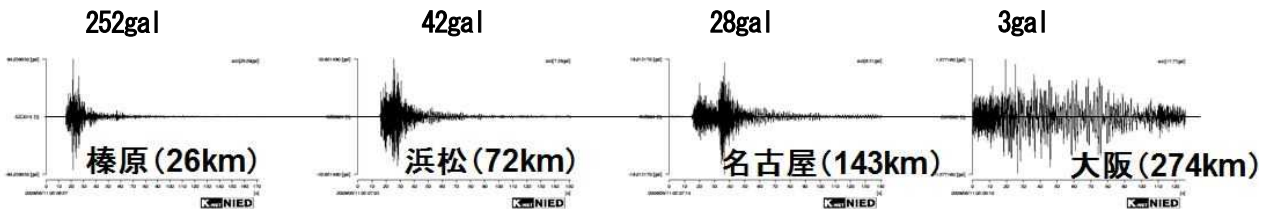


図 15 地震波形 (防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET より引用)

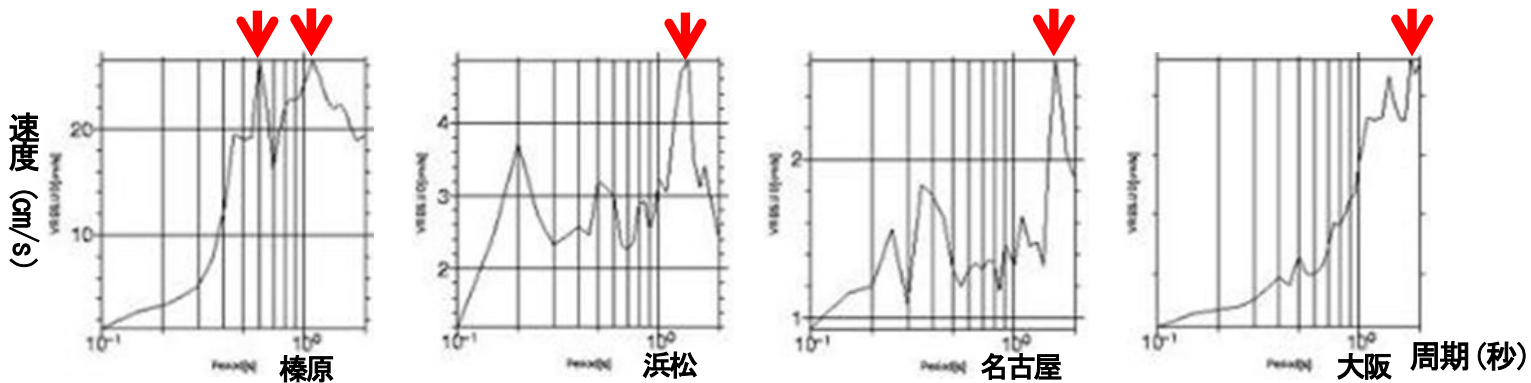


図 16 周期の応答スペクトル (防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET より引用)

7 周期による揺れの増幅の検証

この仮説を検証するために、震央に近い御前崎 (震央距離約 32~41km) と震央から遠い磐田 (震央距離約 54~65km) の 2 地点で、固い地盤と軟らかい地盤の平均震度を比較することにした。

この結果、震央に近い御前崎では、軟らかい地盤である沖積平野の平均震度は 3.83、固い地盤である洪積台地の平均震度は 3.97 だった。

震央から遠い磐田では、軟らかい地盤である沖積平野の平均震度は 3.42、固い地盤である洪積台地の平均震度は 3.21 だった。よって、震央から近いところでは固い地盤の震度が大きく、震央から遠いところでは軟らかい地盤の震度が大きいことが証明された。

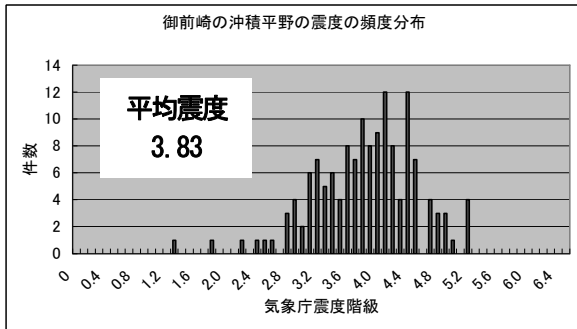


図 17 御前崎の沖積平野の震度の頻度分布

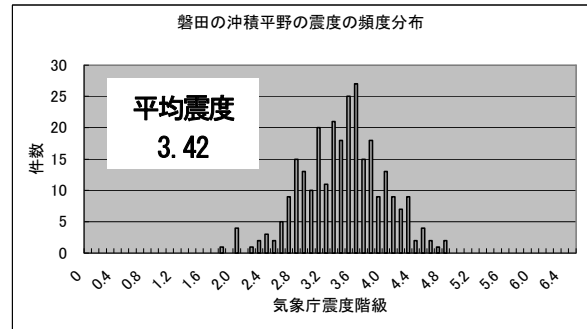


図 19 磐田の沖積平野の震度の頻度分布

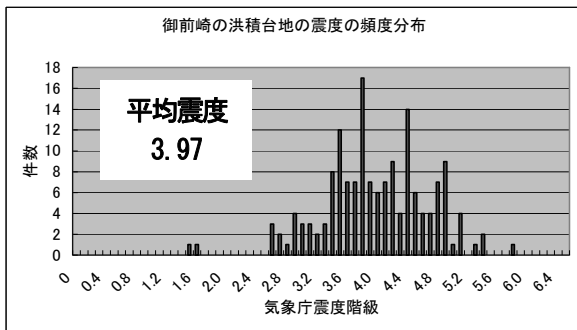
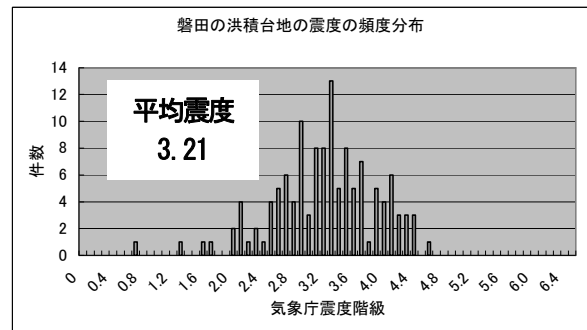


図 18 御前崎の洪積台地の震度の頻度分布



8 結論

- (1) 震央に近いほど震度は大きい。
 - (2) 軟らかい地盤の方が固い地盤よりも距離減衰が大きい。
 - (3) 全体では、軟らかい地盤の方が固い地盤よりも震度は大きい。しかし、距離別に見ると、震央から近いところでは固い地盤と地震波が同期して強く揺れ、震央から遠いところでは軟らかい地盤と地震波が同期して強く揺れる。
- これらの関係をまとめたものが表 1 である。

表 1 震央距離と地震の各要素の関係

震央距離		近い	遠い
地震波	振幅	大	小
	周期	短	長
全体の震度		大	小
地盤別震度	軟らかい	小	大
	固い	大	小

9 今後の課題

- (1) アンケート調査地点 1 つ 1 つの正確な地盤を調べて、より細かい地盤別の震度を算出し、地盤との関連性を調べる。
- (2) どの地盤がどの揺れの周期で揺れやすいかを地震計を用いて調べる野外実験を行う。
- (3) 震央距離だけではなく、震源距離で調べる。

10 参考文献

- ・太田裕・後藤典俊・大橋ひとみ；アンケートによる地震時の震度の推定，北海道大学工学部研究報告，第 92 号，117-128，1979
- ・太田裕・小山真紀・中川康一；アンケート震度算定法の改訂-高震度領域-自然災害科学，16 巻，No 2，pp. 307-323，1998
- ・大石ほか；2008 年 1 月 27 日の地震による静岡県袋井・磐田地区の詳細震度と地盤の振動特性，平成 20 年度磐田南高校理科課題研究報告書，35-48，2008
- ・新版 MANDARA と EXCEL による市民のための GIS 講座——フリーソフトでここまで地図化できる——
- ・地理情報分析支援システム MANDARA | フリー GIS ソフト ホームページ
- ・MANDARA 掲示板 ホームページ
- ・中央建鉄株式会社技術情報かわら版 2006 年 10 月号 ホームページ
- ・気象庁ホームページ
- ・防災科学技術研究所強震ネットワーク K-NET ホームページ