寄 書

常時微動と表層地盤の 平均 S 波速度及び平均地質年代 による地盤種別の新しい 判定法の提案

熊本工業大学構造工学科*

田中愛一郎

Some Proposals for New Method of Ground
Classification by Using Microtremors,
Mean Shear Wave Velocity
and Mean Geological Year
in Surface Ground

Ai'ichiro TANAKA

Department of Structural Engineering,
Kumamoto Institute of Technology, Ikeda 4-22-1,
Kumamoto-shi, Kumamoto-ken 860, Japan

(Received July 29, 1989;

Accepted September 18, 1989)

金井・田中グループの常時微動の研究は、KANAI and TANAKA (1961) により一応の完成を見た。その後、KANAI and TANAKA (1961) の提案する常時微動による地盤種別の判定は、日本において広く地震工学を初めとする各方面において利用されてきた。KANAI and TANAKA (1961) により提案されている地盤種別値判定の為の A 試案、B 試案を Fig. 1, Fig. 2 に示す。田中 (1986)^{注1)} は KANAI and TANAKA (1961) の A 試案、B 試案に基づいて地盤種別値を正確に算定する方式を発表するとともに、その応用面についても計算式を示している。このように広く利用されて来た地盤種別ではあるが、問題も残されている。一つの問題点を挙げると、4 種地盤と言うと軟弱地盤の範疇に入る訳であるが、その上限はどこまでかと言う議論はこれまでなされていない。もう一つの問題点は、地盤種別と表層地盤の地質区分との関係である。OHSAKI (1972) により大まかな両者

の対応関係は示されているものの、具体的な地質年代との対応関係はこれまで不明である (Table 1 参照)。

最初の問題点について考える契機となったのは、1985 年メキシコ地震である。日本建築学会 (1987) によれば、地震後の現地調査において、表層地盤上で 2 秒を越え 3~4 秒前後の地盤周期が観測されたと報告されている。メキシコ市において被害甚大だった地域は、湖成層から成る地盤であることが知られており、調査地域の一部には S 波速度が約 38 m/s と異常に低い速度の層が分布していることも報告されている。

KANAI and TANAKA (1961) によれば、常時微動の平均周期の上限は一応 2 秒と言うことであるから、2 秒を越える周期の地盤を 4 種地盤として良いか疑問が残る。そこで、このような地盤を新しく 5 種地盤と定義することとし、1/4 波長則を用いて 5 種地盤に相当する地盤の層厚と S 波速度とを計算した。その結果を Fig. 3 の下に示す。このような試算を経て、4 種地盤から 5 種地盤

Fig. 1 Proposal A: Ground classification by microtremors observations [KANAI and TANAKA (1961)].

Fig. 2 Proposal B: Ground classification by microtremors observations [KANAI and TANAKA (1961)].

* 〒860 熊本市池田 4-22-1

注1) 上記文献中、式 (1), (2) に誤値がありました。謹んで下記のごとく訂正させていただきます。

$$A_a = \alpha \cdot 6.0 \cdot T_M^{0.25} + \beta \cdot 5.5 \cdot A_{mp}^{0.13} \quad (1)$$

$$V_s = \alpha \cdot 160 \cdot T_M^{0.668} + \beta \cdot 200 \cdot A_{mp}^{0.348} \quad (2)$$

Table 1 Ground classification by soil conditions

Ground Classification	Soil Conditions
Kind of ground I	Ground consisting of rock hard sandy gravel or the like classified tertiary or older strata
Kind of ground II	Ground consisting of sandy gravel, hard sandy clay, loam or the like classified as diluvial, or alluvial gravel about 5 meters or more in thickness
Kind of ground III	Standard ground other than Kind of ground I, II or IV
Kind of ground IV	Ground consisting of soft alluvial delta deposits, topsoils, mud or the like about 30 meters or more in total thickness Ground made by the reclamation of a marsh, muddy seabottom or the like about 3 meters of more in thickness, where less than 30 years have elapsed since the time of reclamation

に移行する 4.5 種地盤の平均周期範囲を 1.5 秒～2.5 秒 (IV の矢印と V の矢印の重複する部分) と定めてみた。KANAI and TANAKA (1961) の A 試案を基に、平均周期と最大周期の関係を利用して、新しく 4.5 種地盤 (同上)、5 種地盤の領域を書き加えたものが Fig. 3 である。KANAI and TANAKA (1961) のもう一つの提案である B 試案については、縦軸の幅が B 試案とほぼ同じスケールになるように注意しつつ、4.5 種地盤 (同上)、5 種地盤の領域を追加したものが Fig. 4 である。このようにして作成された Fig. 3, Fig. 4 を改訂 A 試案、改訂 B 試案と呼ぶことにする。5 種地盤の平均周期の上限は 5 秒と考えられる。

メキシコ盆地に匹敵する地盤として、日本国内では佐賀平野、八郎潟、東京湾沿岸の一部等かねてから軟弱な地盤の存在が指摘されており、これらは 4.5 種地盤～5 種地盤ではないかと思われる。このような地盤に対して 4 種地盤、4.5 種地盤、5 種地盤の区分を明らかにすることは、工学上意味のあることと思われる。本研究による改訂 A 試案、改訂 B 試案は、今後も世界各地における常時微動の測定を通して地盤種別の確立に寄与するであろう。

以上述べたことは、KANAI and TANAKA (1961) の A 試案、B 試案の改訂に関することであるが、次に新しく提案する地盤種別の判定法について説明する。

Fig. 3 Revised Proposal from Proposal A: Ground classification by microtremors observations [KANAI and TANAKA (1961)].

Fig. 4 Revised Proposal from Proposal B: Ground classification by microtremors observations [KANAI and TANAKA(1961)].

田中・右田(1988)は KANAI and TANAKA (1961) の A 試案, B 試案を基に, 表層地盤の平均 S 波速度を推定する次式を發表している.

$$V_s = \alpha \cdot 160 \cdot T_M^{-0.668} + \beta \cdot 200 \cdot A_{mp}^{-0.348} \quad (1)$$

また田中 (1989a, 1989b) は同じく KANAI and TANAKA (1961) の A 試案, B 試案を基に表層地盤の平

Fig. 5 Relation between α, β , and $|A-B|$. α is a depending factor with regard to period. β is a depending factor with regard to amplitude. $|A-B|$ is the degree of uncertainty for determining final kind of ground.

Mean Shear Wave Velocity
m/s

Fig. 6 Relation between Mean Shear Wave Velocity V_s and Mean Geological Year M. G. Y. based on data around Kumamoto Institute of Technology.

Table 2 Relation between K, T_M , V_s , M. G. Y. and Geological Classification

K	T_M (s)	V_s (m/s)	M. G. Y. ($\times 10^4$ years)	Geological Classification
1	less than 0.10	more than 765	10000-3600	older than Tertiary
1.5	0.15	570	3600-500	
2	0.23	430	500-80	Diluvium
2.5	0.34	330	80-15	
3	0.51	250	15-2.5	
3.5	0.75	200	2.5-0.5	Alluvium
4	1.13	150	0.5-0.1	
4.5	1.68	125	0.1-0.02	
5	more than 2.50	less than 100	0.02-0.01	

Note

K: Ground classification

T_M : Mean Period (s)

V_s : Mean Shear Wave Velocity (m/s)

M. G. Y.: Mean Geological Year ($\times 10^4$ years)

Fig. 7 Proposal C: Criterion for surface ground classification by geologic profile data from the surface down to 30 m depth.

均地質年代^{注2)}を推定する次式を得ている。

$$M. G. Y. = (\alpha \cdot T_M^{-4} + \beta \cdot A_{mp}^{-2}) \cdot 10^{4.333 - 0.333 \cdot (\alpha \cdot A + \beta \cdot B)} \quad (2)$$

ここに、 T_M は平均周期 (秒)、 A_{mp} は最大振幅 (ミク

注2) 平均地質年代の定義は、地表面より地下 30 m までの各層の層厚と絶対年代とを掛け合わせて積算したものの合計を 30 で割ったものである。

ロン)、 A, B は本研究による改訂 A 試案及び改訂 B 試案における地盤種別値、 α, β はそれぞれ周期依存率、振幅依存率である。 α, β と $|A - B|$ の関係を Fig. 5 に示す。 $|A - B| = 0 \sim 3$ の間では $\alpha + \beta = 1.0$ であり、 α と β とは相反して増減するが、 $|A - B| = 3 \sim 4$ では周期より振幅の信頼度が高く、 $\alpha = 0.0, \beta = 1.0$ となる。一部の場

Fig. 8 Relation between Mean Geological Year and Absolute Age.

合を除くと、地盤種別値は周期あるいは振幅のいずれか単独では正確に求まらないと言う意味と周期と振幅とが相互に依存していると言う意味で、 α, β と $|A-B|$ との間には物理学的な不確定性と相補性とが不可分の形で結びついていると考えられる。

常時微動測定結果を基に (1) 式及び (2) 式を計算し平均 S 波速度と平均地質年代との関係を求めると、Fig. 6 のごとくなる。Fig. 6 中の直線式は下記に示す通りである。

$$\log V_s = 0.15 \log M. G. Y. + 1.70 \quad (3)$$

以上の理由より、(3) 式は常時微動の測定結果に基づく経験式であることは明らかである。

ここで言う“平均”の意味は、表層から深さ 30 m までの地盤各層の S 波速度あるいは地質年代に層厚を掛けた重み付きの平均を意味する。

著者は、熊本市における常時微動の実測結果を上各各式に代入して地盤種別値と地盤周期、表層地盤の平均 S 波速度、平均地質年代との関係を調べた。その結果を Table 2 に示す。

以上のような検討結果を踏まえて、地盤種別と平均 S 波速度及び地盤種別と平均地質年代との関係が把握できたので、これらの関係を面対数座標グラフ上に表現することにより、Fig. 7 に示すような新しい地盤種別判定の為の試案を得た。この新しい試案は、平均 S 波速度と平均地質年代とを用いて地盤種別を判定するものであるが、その作成の経緯から分かるごとく KANAI and TANAKA (1961) の A 試案、B 試案に基づくものであり、また各種の地盤種別値もそれぞれ A 試案、B 試案のそれに対応するものであることに鑑みて、C 試案と呼ぶことにする。

C 試案を作成するに際しては平均地質年代を算定した

だけでなく、世界各地における地質年代区分の基準となっているヨーロッパにおける層序区分との対比を明らかにしておくことは重要と考え、地学団体研究会 (1984)、新堀・柴崎 (1982)、大久保・藤田 (1984) を参考にしつつこれを追加している。C 試案は第四紀学あるいは応用地質学の研究を進める上でも有用であろう。

C 試案の使用法について以下に説明する。実際の地盤は多層から成っているが、これを大まかに 3 層に分けると平均地質年代はほぼ中間層の絶対年代に相当する。平均地質年代と絶対年代との関係を概念的に示すと Fig. 8 のごとくである。Fig. 8 を基に考察すると、(2) 式より求める平均地質年代を 2 倍するとその地盤の最下位層の絶対年代とほぼ等しい値が得られることが分かる。平均地質年代を 2 倍したものを最下位層の絶対年代とした場合、C 試案においては平均地質年代と Cretaceous 以降のヨーロッパの層序区分とはヨーロッパの層序区分から見て傾斜角 12° の線で結ばれることになる。C 試案には、地盤種別値の境界と絶対年代との関係を記している。また絶対年代～平均地質年代～平均 S 波速度の関係をたどって絶対年代と平均 S 波速度との関係を求めることもできる。C 試案の提案により、表層地盤の地質年代が判明している地点では、地質学資料を用いて地盤種別を判定することが可能となった。C 試案は、サイスミックマイクロゾーニングにおける地盤種別の簡便な判定の為の尺度として、今後本研究による改訂 A 試案、改訂 B 試案と共に広く利用価値があるものと思われる。

文 献

- 地学団体研究会地学事典編集委員会, 1984, 増補改訂版地学事典, 平凡社, 1229.
KANAI, K. and T. TANAKA, 1961, On Microtremors

VIII, Bull. Earthq. Res. Inst., **39**, 97-114.

日本建築学会, 1987, 1985 年メキシコ地震災害調査報告, 599.

大久保雅弘・藤田至則, 1984, 地学ハンドブック, 築地書館, 28.

OHSAKI, Y., 1972, Japanese Microzonation Method, Proceedings of the International Conference on Microzonation for Safer Construction, 161-182.

新堀友行・藤田至則, 1982, 第四紀 第2版, 共立出版, 28-29.

田中愛一郎, 1986, 常時微動実測に基づく地盤種別判定法について, 地震 **2**, **39**, 665-666.

田中愛一郎・右田健児, 1988, 常時微動による平均 S 波速度の推定, 物理探査, **41**, 18-26.

田中愛一郎, 1989a, 常時微動による平均地質年代の推定, 物理探査 (投稿中).

田中愛一郎, 1989b, 常時微動より求めた平均 S 波速度と平均地質年代との関係, 熊本工業大学研究報告 (投稿中).