

中国地方沖積地盤事情

芳賀保夫*

Review paper, Outlines of the Alluvium
in Chugoku Region, Japan

Yasuo HAGA

ABSTRACT

This paper describe the outlines of alluvium in Chugoku region.

- (1) The geotechnical maps, published in this region are shown in Table 1 and Fig. 2.
- (2) The geological specification and stratigraphy of quarternary are shown in Table 2.
- (3) The ground types of alluvium and area for type B and Type C are shown in Table 3 and Fig. 2.
- (4) The properties of quarternary layers are as follows.
 - U.S. Fine or medium saturated sand. $N=10\sim 15$.
Grain shapes are shown in Fig. 4.
 - U.C. Normal consolidated clay. $N=0\sim 5$. $q_u \doteq 0.6p_0$. C_c is shown in Fig. 5.
 $C_v=1\sim 5\times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{sec}$ (for clay), $5\sim 10\times 10^{-3}\text{ cm}^2/\text{sec}$ (for silt).
 - LS. Sand layer. $N=15\sim 25$.
 - LC. Over consolidated clay. $N=5\sim 10$.
 - L. Valcanic ash soil. $N=1\sim 5$.
 - Lm. Sand and gravel, contain hard clay layers. $N\geq 50$.
- (5) The type of microtremors and relation between that of the ground type are shown in Table 4 and Table 5.
- (6.1) The liquefaction of alluvial sand layer is occurred in TOTTORI City 1943 (TOTTORI earthquake $M=7.4$, $a_{\max} \doteq 250\text{ gal}$)
- (6.2) The ground settlement of alluvium is occurred in TOTTORI City (settlement velocity about $1\sim 3\text{ cm/year}$ for ground type B and C).
The damage of buildings are shown in Table 6.
- (6.3) Many slope failures by heavy rains are occurred in HIROSHIMA Pref. (1967), and SIMANE Pref. (1983). The type of failures are shown in Table 7.
- (7) The damage ratio of wood buildings in TOTTORI City by TOTTORI earthquake 1943, are shown in Fig. 7. Mainly damages are occurred in area of ground type B. (see Fig. 6)
- (8) Mainly, the bearing pile foundations are used to heavy buildings on alluvium. (see Table 8)

1. まえがき

中国地方の主要都市はほとんどが河口の沖積平野上に発達している。1960年に始まった高度成長の時代には工業団地として各地で海面・塩田の大規模な埋立が行なわれ、また急増する人口の住宅用地として都市周辺の台地・丘陵地の開発が盛んに行なわれた。これらの開発事業の基礎的資料として各地の地盤図が作成された。

最近では開発事業は一段落したものの、続発する地盤災害に備えるための資料として各地で引続き地盤図が編集されている。

本報では中国地方において公的機関において作成された地盤図を紹介すると共に、これら地盤図に示された沖積地盤の概要について取まとめる。

2. 中国地方で刊行された地盤図

現在までに公的機関から刊行された地盤図のリストをTable 1に示す。また地盤図に含まれる地域をFig 1, Fig 2に示す。

地盤図に資料として収録されている主な内容は次のようなものがある。

- ・ 土質柱状図, 土質試験結果
- ・ 常時微動測定結果
- ・ 構造物基礎工法調査結果
- ・ 地盤災害実例
- ・ 沖積層の下限等深線図, 地盤型分布図, 地層断面図

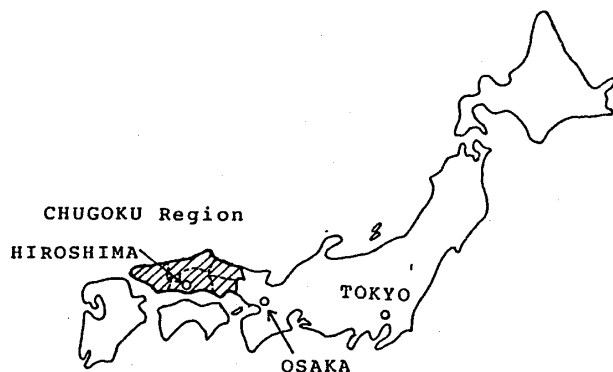


Fig 1 Location map

3. 地層区分および地盤型

沖積平野を構成する第4紀層を構造物の支持地盤としての観点からTable 2のように区分する。沖積層, 洪積層の境界は約1万年前としているが, 新期洪積層

Table 1 List of geotechnical map in CHUGOKU Region

Fig2 No.	名称 Area	発行年 Publish year	作成機関 Publisher
1	島根県地盤図 SIMANE Pref.	1985	文部省特定研究経費(米子高専他) Ministry of Education
2	中海臨海地帯の地盤 CHUKAI	1967	建設省計画局他 Ministry of Construction
3	鳥取県地盤図 TOTTORI Pref.	1981	建築学会中国支部他 Architectural Institute
4	岡山県臨海地帯地盤図 OKAYAMA Pref.	1985	文部省特定研究経費(米子高専他) Ministry of Education
5	広島県東部地盤図 East HIROSHIMA Pref.	1968	建築学会中国支部 Architectural Institute
6	呉市地盤図 KURE	1971	"/ /
7	広島地区の地盤 HIROSHIMA	1964	建設省計画局他 Ministry of Construction
8	大竹・岩国地区地盤図 OTAKE・IWAKUNI	1970	建築学会中国支部 Architectural Institute
9	山口県周南地区の地盤 SHUNAN	1966	建設省計画局他 Ministry of Construction

LS, LCまでを沖積層に区分する説もある。第4紀層の標準的な層序はFig 3のようになる。

沖積層は大変軟弱な地層であるが, その厚さはせいぜい40mまでである。これに対して洪積層は推積年代が約1万年前~200万年前と大変長いので層厚が100mをこえることも多く, 一般には安定した支持地盤となる。

沖積層をTable 3の方法によりA, B, Cの3つの型に区分する。新耐震規準(建設省告示1793号, 昭56.6)に定められた地盤型とTable 3の地盤型との関係

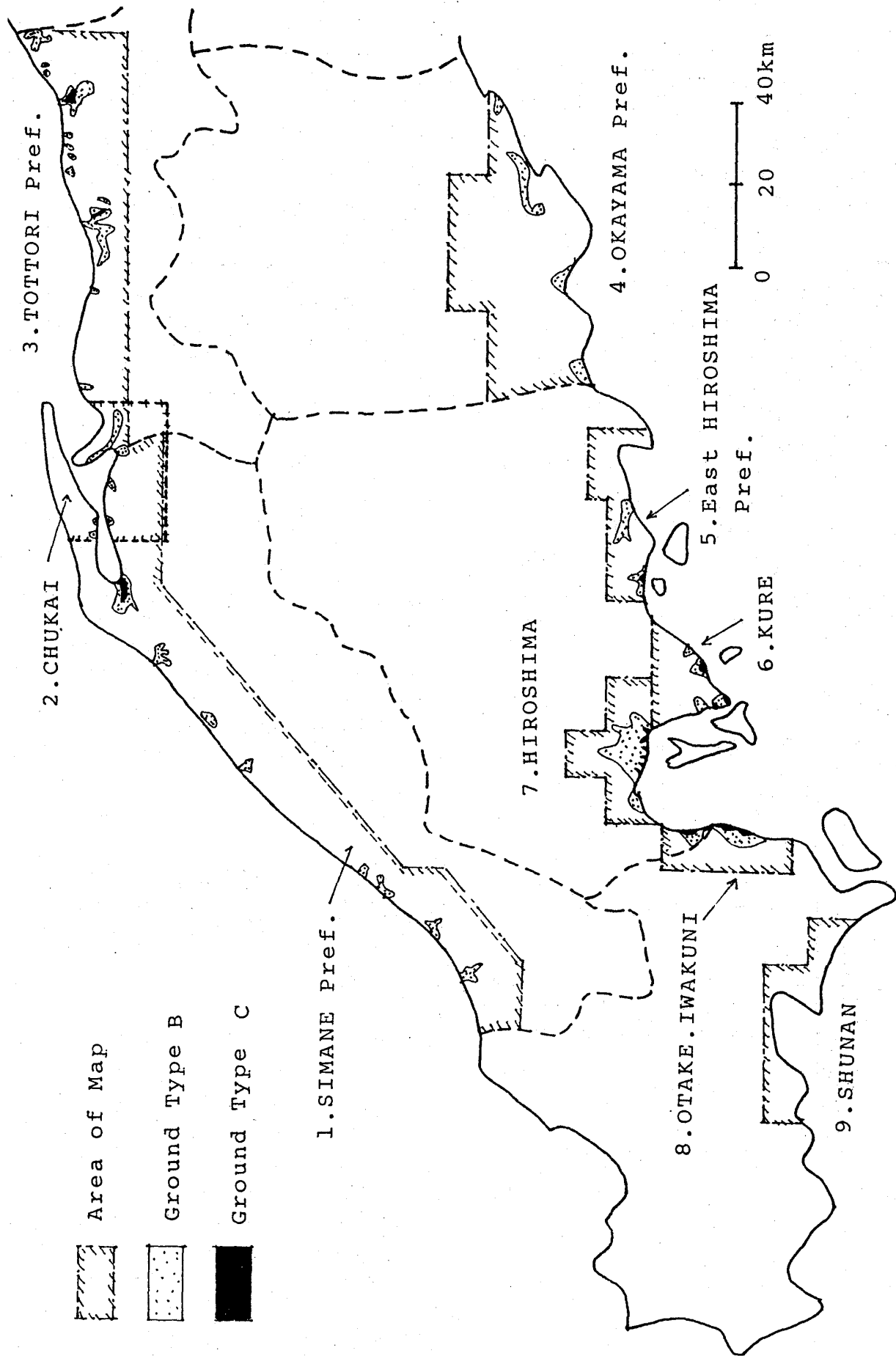


Fig 2 Geotechnical maps in CHUGOKU region

は次のようになる。

A, B型……新耐震規準第2種地盤

C型……同上 第3種地盤

なお3m以上の厚さの埋立てを行ない、完成後30年未満の地盤は第3種とする。

地盤図に収録された区域に存在するB型, C型の地盤の範囲をFig 2に併記した。

4. 土性

Table 2に示す各層の土性は次のようである。

4.1 上部砂層US (沖積層)

河川堆積砂, 海岸砂, 砂丘砂等からなり, 貝, 小レキが交ることが多い。粒子の形状はFig 4に示すように同一河川を供給源にする砂について見ると, 河川砂, 海岸砂, 砂丘砂の順に角がとれて丸くなる。

N value $N = 5 \sim 15$, 地下水位はGL-1~2mと浅いため地震時の液状化の危険度が高い。

粒径0.074mm以下の細粒土の含有率20%以下, 60%粒径60% grain size $D_{60} \div 0.15 \sim 1.0mm$, 均等係数 uniformity coefficient $U_c \div 2 \sim 5$ が大部分を占め, 粒度分布の面からも液状化の起り易い土質と云える。

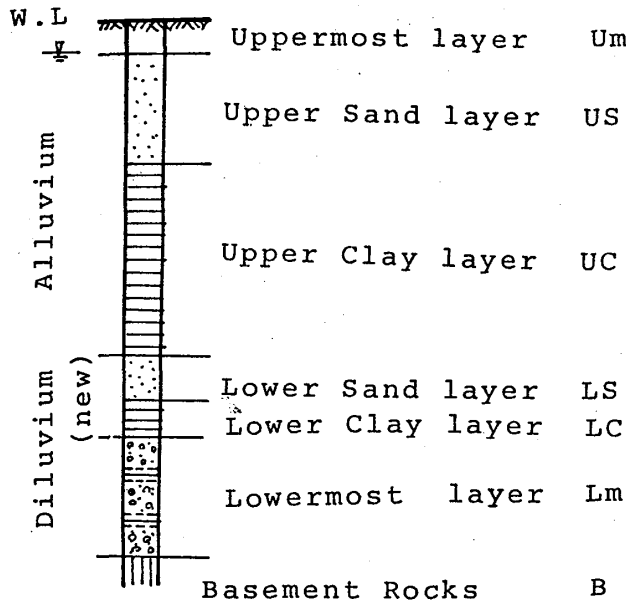


Fig 3 Stratigraphy of Quaternary deposit

Table 2 Geological specification

Geological age		Specitication	
Quaternary	Alluvium	Uppermost layer	Um
		Upper Sand layer	US
		Upper Clay layer	UC
	Diluvium	(New) Lower Sand layer	LS
		Lower Clay layer	LC
		(Middle·Old) Lowermost layer	Lm
	Loam layer	L	
Before Tertiary	Basement Rocks	B	

Table 3 Specification of the Type of ground

Type A	Upper Clay layer UC is not thicker than 5m, or Alluvium is not thicker than 15m
Type B	Alluvium is not thicker than 30m
Type C	Alluvium is thicker than 30m

供給河川の水源となる中国山地には風化花崗岩地帯が多いため, 砂粒子の材質は石英質であることが多い。

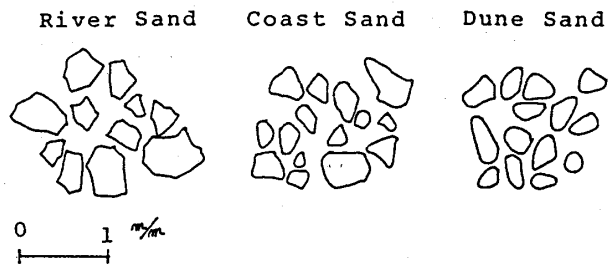


Fig 4 Shapes of Upper Sand US in YONAGO City

4.2 上部粘土層UC (沖積層)

周南地区には上部粘土層がほとんど存在しないので, これを除いた地区について考察する。海進時代に堆積された正規圧密粘土層であり, N値0~5, 軟弱で圧縮性に富む。各地区で幾分の差はあるもの、

液性限界Liquid limit $W_L \div 30 \sim 140\%$

含水比 Water content $w \div 40 \sim 120\%$

間隙比 Void ratio $e \div 1.0 \sim 3.0$

含水比 w は液性限界 W_L をこえることもある。

一軸圧縮強度 Unconfined compressive strength q_u と有効上載圧 Effective overburden pressure p_o との関係はほぼ

$$q_u \doteq 0.6 p_o$$

繰返すと成形不能になるため一軸圧縮試験ができないことが多く、一般に鋭敏比 Sensitivity ratio S_t は極めて大きい。

圧縮指数 Compression index C_c と液性限界 W_L との間に次のような関係がある。

W_L が小さいもの (広島, 大竹・岩国, 鳥取, 呉)
 $C_c = (0.010 \sim 0.012) (W_L - 10)$ (W_L は%)
 W_L が大きいもの (岡山, 広島県東部, 島根)
 $C_c = 0.025 (W_L - 40)$ (W_L は%)

また圧縮指数 C_c と間隙比 e の間にも次のような関係が見られる。

e の小さいもの [鳥取, 大竹・岩国, 呉, 広島県東部 ($e < 2.0$), 広島]

$$C_c = 0.5 e - 0.25$$

e の大きいもの [岡山, 島根, 広島県東部 ($e > 2.0$)]

$$C_c = e - 1.0$$

以上の関係は Fig 5 のように示すことができる。

圧密係数 Coefficient of consolidation C_v は

粘性土 (径 0.074 mm 以下の細粒土の含有率 50% 以上) で $1 \sim 5 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$, 中間土 (径 0.074 mm 以下の細粒土の含有率 20~50%) で $5 \sim 10 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ 程度である。

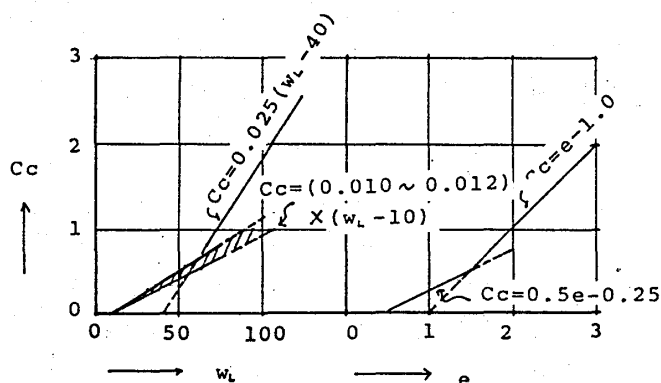


Fig 5 Compression index C_c and Liquid limit W_L , Void ratio e

4.3 下部砂層LS (新时期洪積層)

洪積層の最上部に堆積した河成の砂層であるが, 山地・丘陵地との境界では崖錐状となる。また沖積層との境界面に火山灰, 火山レキ (軽石) を含むことがある。

N値15~25の中位の締まり具合の砂層で地震時の液状化のおそれはないものゝ, 杭の支持層としては強度が不足する。多量の地下水が採取可能なので, 揚水の水源として利用される。

4.4 下部粘土層LC (新时期洪積層)

N値5~10の中位の硬さの海成粘土層であり, 沖積粘土層UCの真下に存在するときには両者の区分が困難なこともある。火山灰を含み白灰色, 茶灰色を呈することもある。

$0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ の過圧密状態にあり, 一軸圧縮強度 q_u と有効上載圧 P_o との関係も $q_u > 0.6 P_o$ である。中規模以下の構造物に対しては有害な圧密沈下の生じるおそれは少ない地層である。

4.5 火山灰ローム層L (洪積層)

山陰地方では段丘レキ層, 丘陵地の上面に厚さ数米の火山灰ローム層が堆積していることが多い。強度はあまり大きくなく, 間隙比 $e = 1 \sim 5$, N値 $= 1 \sim 5$, 一軸圧縮強度 $q_u = 0.5 \sim 1.0 \text{ kgf/cm}^2$ であり, 一般に $1 \sim 3 \text{ kgf/cm}^2$ の過圧密状態になっている。

住宅等小規模建物の支持地盤としては利用可能な地層である。

4.6 最下部層Lm (中后期洪積層)

N値50以上の砂レキ層を主体とする堅固な地層で, 杭の支持層として十分な強度を持つ。

間水期に堆積した粘性土の層を中間にはさむことがあるが, そのN値は10~20と硬く, かつ $1 \sim 2 \text{ kgf/cm}^2$ 以上の過圧密状態にあるので, この地層の強度が砂レキ層に支持された杭の支持力に影響を与えることは少ない。

揚水のための良好な水源となる。

4.7 基盤層B (岩盤)

堆積岩としては砂岩, 頁岩など, 火成岩としては花崗岩, 安山岩などが多い。一般に上面は風化が進んでおり, 砂岩, 頁岩, 安山岩では粘土化し, 花崗岩ではマサ状になる。風化岩であってもN値30以上であれば良好な支持地盤である。

5. 常時微動

地表面の常時微動の測定結果から周期頻度曲線を Table 4 の3型に分類した。

周南地区は上部粘土層が薄く軟弱地盤とは云い難いので除いて他の地区について常時微動の型と地盤型の関係を Table 5 に示す。地盤型は各型の境界付近の区分には誤差がさげられず、また常時微動の型には地表面付近の軟弱層の影響が入る。これらのことを考えると両者はほぼ一致しており、常時微動の測定が地盤型判別の補助手段として有効なことを示している。

6. 地盤災害の実例

6.1 地震時の液状化現象

1943年9月10日に発生した鳥取地震の際に鳥取県下広域にわたって沖積砂層U Sの液状化現象が発生した。このときの地震のmagnitude $M=7.4$ 、鳥取市西部の地下10kmを震源とする直下型の地震である。

鳥取市内の体感震度はVI~VIIの烈震または激震であり、地表面最大加速度 Maximum ground acceleration $\alpha_{max} \div 250 \text{ gal}$ と推定される。上部砂層U Sの厚さは10m程度、径0.074mm以下の細粒土の含有量は20%以下の細い中砂であり、N値10~15、地下水位はGL-1.0~2.0mである。

米子市の埋立地においても液状化現象が発生しているが、この地点の上部砂層は細粒土をほとんど含まないきれいな細砂であり、N値は5以下で地下水位はGL-0.5m付近にあった。

1983, 10, 31にも同じ断層を震源とする鳥取県中部地震が発生した。このときの $M=6.3$ 、体感震度は鳥取でIV ($\alpha_{max} \div 50 \text{ gal}$) 倉吉でV ($\alpha_{max} \div 100 \text{ gal}$)⁽²⁾であったが液状化現象は発生していない。

Table 4 Type of Microtremors

- Type A The predominant (occurring most frequently) period exists between 0.10 and 0.25 sec., and no peak of curve can be seen for the period longer than 0.25 sec.
- Type B The predominant period lies between 0.25 and 0.40 sec. If such a peak can be seen in a certain degree, it does not appear at a period longer than 0.55 sec.
- Type C The predominant period is longer than 0.4 sec., or the frequency curve is flat, or peaks of the curve can be seen fairly many in number at periods longer than 0.8 second.

Table 5 Type of Microtremors and that of Ground Type (Number of points)

Area	TOTTORI Pref.			SIMANE Pref.			OKAYAMA Pref.			
	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Microtremors type										
Ground type	A	20	14	9	53	22	7	66	—	—
	B	—	6	5	—	15	5	5	—	—
	C	—	—	1	—	—	1	—	—	—
Area	KURE			HIROSHIMA			Total			
Microtremors type	A	B	C	A	B	C	A	B	C	
Ground type	A	6	—	1	12	—	—	157	36	17
	B	—	8	—	12	34	1	17	63	11
	C	—	1	7	—	—	5	—	1	14

6.2 地盤沈下

広域な地盤沈下は鳥取市において発生している。地下水の過剰な汲上げによる地下水位の低下のため沖積粘土層U Cに圧密沈下が生じたものである。

沈下量の分布は Fig 6 の地盤型分布図にほぼ一致する。地表面の年間沈下量はB型地盤で1~2cm、C型地盤では3cmに達することもある。A型地盤では問題となるような沈下は生じていない。

地盤沈下のために支持杭の建物の抜上り、地下配管の折損、木杭の頭部腐朽など種々の障害が発生している。(Table 6 参照)

この他に埋立地、干拓地などで局所的な地盤沈下が起っており沈下の総量が50~100cmに達することもある。沈下の原因は盛土自重による沖積粘土層U C(場合によってはU mも含む)の圧密沈下の他に軟弱土のフロー、潮の干満にともなう細粒土の流出などが複合している場合が多い。地盤沈下量が過大になると支持杭の建物の抜上り、土間の陥没、地下埋設管の折損、周辺道路の不陸など致命的な損傷を受けることも珍しくない。

6.3 崖崩れ

広島県では1967年7月に集中豪雨のため水に弱い風化花崗岩(マサ土)の崖の崩壊事故が多発している。県内の被害総額は169億円と報じられ、死者も多数出た。このときの呉地区における崖の前壊型の内訳は Table 7 のようである。⁽³⁾

鳥根県では1983年7月に梅雨期の長雨により各所で第3紀層軟岩の崖が崩壊した。被害総額は3,661億円、⁽⁴⁾死者、行方不明者あわせて107人と報じられている。

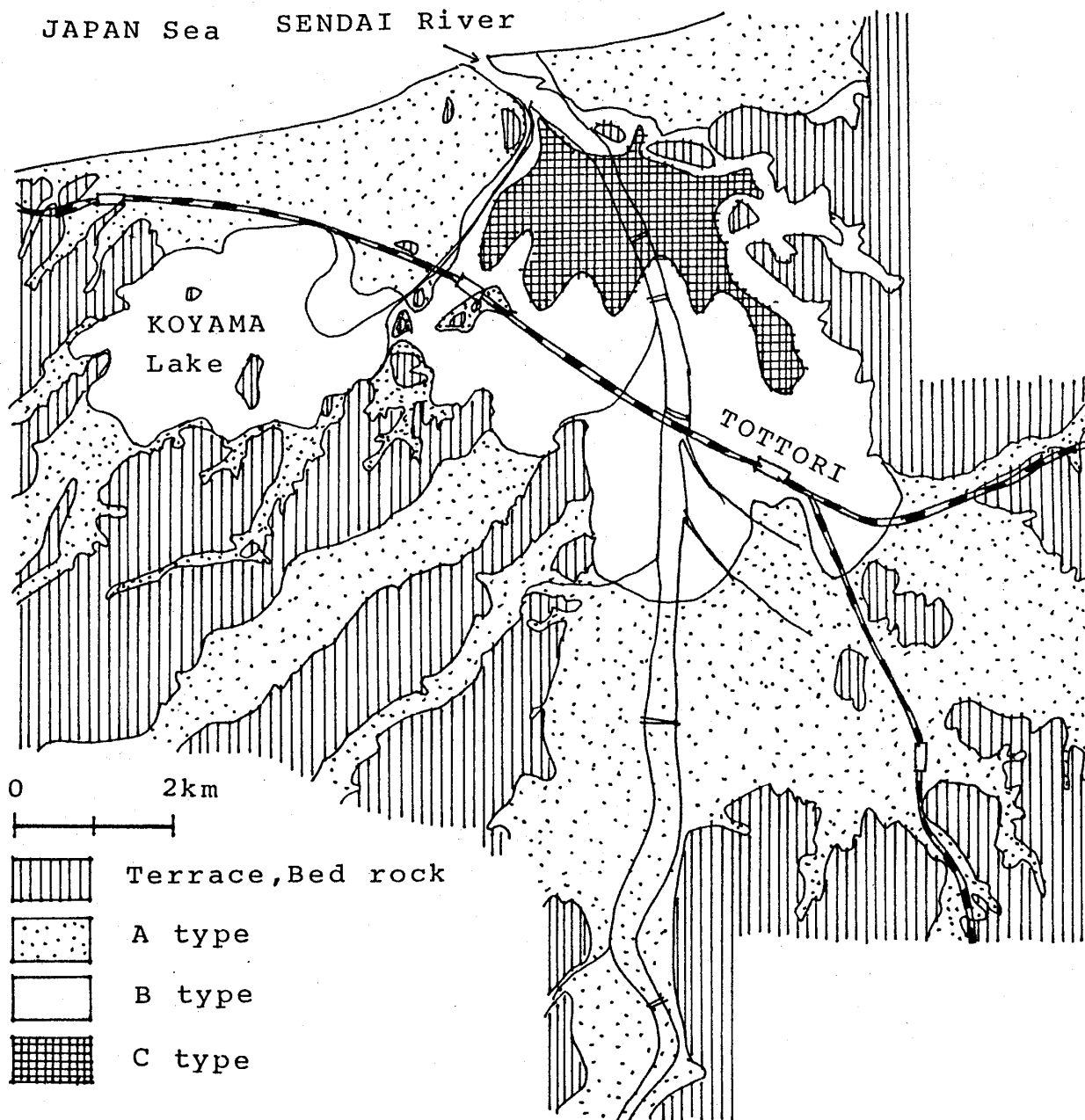


Fig 6 Map of Ground type in TOTTORI City

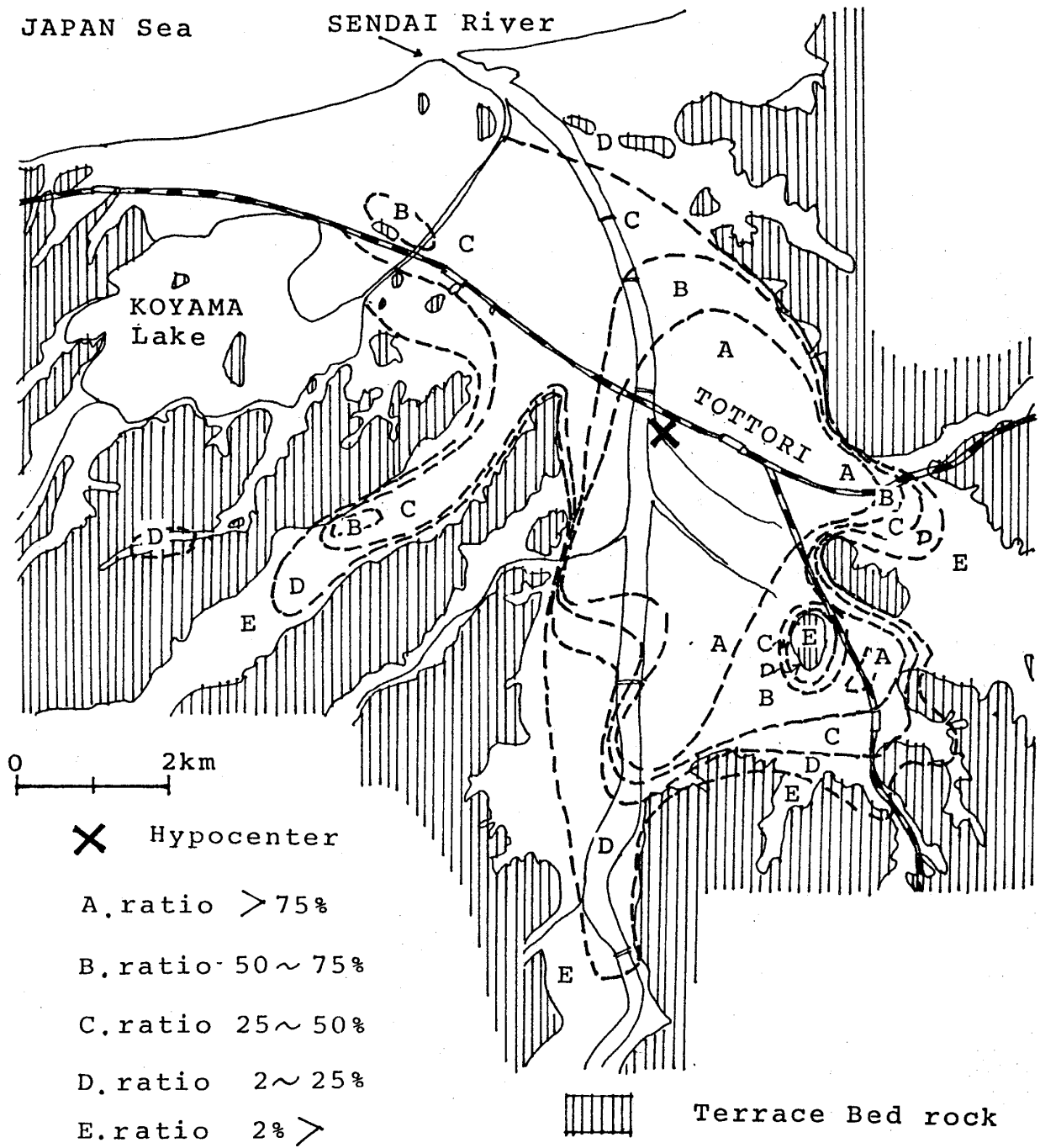


Fig 7 Damage ratio of wood buildings in TOTTORI city by TOTTORI earthquake 1943

$$\text{Damage ratio} = \frac{\text{Number of failed buildings}}{\text{Number of total buildings}}$$

Table 6 Damage of Buildings by Ground Settlement in TOTTORI City 1979. 1 (Number of Buildings)

Damage Type	Year after construction					Total
	1~3	3~5	5~7	7~10	10 <	
Number of buildings	15	12	11	24	36	98
Pile-cap lifting from ground	< 5 cm	2	3	9	5	21
	5~10 cm	2	1	5	4	12
	10~15 cm	—	—	1	1	5
	15~20 cm	—	—	—	—	1
	20 < cm	—	1	—	2	4
Damage of piping water	—	3	2	6	12	23
	—	1	4	7	10	22
gas not damaged	13	7	6	7	19	52

Sotries of building ≥ 3 (by TOTTORI Pref.)

Table 7 Type of Slopefailures of Weathering Granite (Masa) by, a Heavy rain 1967. 7 in KURE City

Type	Ratio (%)
Natural slope	22
Cutting slope	47
Banking slope	3
Stone retaining wall	6
Terraced farm	21
Total (1068 Points)	100

7. 地震による木造建物の被害と地盤型

鳥取地震（6.1参照）の際の鳥取市の木造建物の被害の分布をFig 7に示す。被害はFig 6のB型の地盤地域に集中している。C型地盤での被害が少ないのは、当時はこの地域にはほとんど人家が無かったためと考えられる。

8. 沖積地盤上の建物の基礎工法

地盤図の作成と併せて各地区において建物の基礎工法の実態調査が行なわれている。沖積地盤上の調査建物の件数と、その内に支持杭基礎の占める割合を調査年代順に並べたものがTable 8である。

一般に支持杭が採用されるのは次のような場合である。

（地盤条件）

・上部砂層USの強度が不足するか、または上部粘土層UCに有害な圧密沈下が生じるため沖積層に支持できない。

・杭の施工可能な深さに支持地盤となる基盤レキ層Lmが現われる。

（上部構造の条件）

・規模、重量が大きい。

・沈下または不同沈下に対する許容値が小さい。

最近では都市の発展にともない建物も次第に大規模になり、地盤の軟弱な場所にも建てられるようになった。また杭基礎の材料・工法も年々進歩し、長尺杭が経済的に施工できるようになった。

このため地区によるバラツキは多いもの、Fig 8では最近の調査例ほど支持杭基礎の割合が増加している傾向が見られる。

支持杭以外の基礎工法は直接基礎（フローチング基礎を含む）、摩擦杭基礎などである。

9. あとがき

建築学会中国支部基礎地盤委員会は以上に述べたすべての地盤図の編集作業に参加して来た。昭和61年度に本学建築学科で委員会事務局を引受けることになったが、同時に委員会が過去20年にわたって収集した多量の地盤調査資料、土質標本等も本学に移された。

これらの資料は整理が済み次第に本学内に「中国地区建築基礎地盤情報センター（仮称）」を設けて会員諸兄に公開することになっている。

Fig 2からおわかりのように広島県では福山地区、山口県では大部分の地区の地盤図が未刊になっている。今後も引続き文部省特定研究経費（地域防災）を要求し作業を進展させて行く予定で、皆様のご支援をお願いする次第である。

Table 8 Foundation of Buildings on Alluvium

Area	Publish year	Number of Buildings	Number of Bearing pile foundations (%)
HIROSHIMA	1964	230	17(7)%
SHUNAN	1966	34	30(88)
CHUKAI	1967	92	42(46)
East HIROSHIMA Pref.	1968	109	72(66)
OTAKE · IWAKUNI	1970	78	11(14)
KURE	1971	187	60(32)
TOTTORI Pref.	1981	322	272(84)
OKAYAMA Pref.	1985	124	118(95)
SIMANE Pref.	1985	176	157(89)

(参考文献)

- (1) 鳥取地震災害資料(文部省特定研究経費による研究):米子工業高等専門学校地域防災研究班他, 1983
- (2) 鳥取県中部地震他災害調査報告書(文部省特定研究経費による研究):同上, 1984
- (3) マサ地盤上の建築物の基礎設計:建築学会中国支部基礎地盤委員会, 1974
- (4) 鳥根県の地質:鳥根県 1985