

天満砂礫層と伊丹礫層

西垣好彦・藤田和夫
Yoshihiko NISHIGAKI・Kazuo HUZITA

1. まえがき

「天満砂礫層」は大阪平野における構造物基礎の支持層及び帯水層として 建設技術者の間で非常によく知られている。一方 伊丹礫層は伊丹台地に分布する洪積の礫層で 尼崎港付近では-30mにもぐりこみ 最近の多くの調査結果から この伊丹礫層は梅田付近で天満砂礫層と連続しているともいわれてきた。

今回5万分の1地質図幅「大阪西南部」をつくるに当たって 大阪地盤として以前から問題になっていた天満層について再検討を加えたが その詳細を地域地質研究報告に入れることは困難であったので ここに改めて問題のいきさつをまとめておきたい。

2. 天満層の定義の経緯

天満層を最初に定義したのは山根(1930)で その概要は次のようになる。大阪市を構成する地層を 下部より大阪基盤層 上町層 天満層及び梅田層に区分した。そうして 天満層の特徴は天満地区に最も良く発達している砂礫層で 第1図の断面を示している。また御堂筋より以西では中間に粘土層を挟み 天満層の厚さは御堂筋・天満で最も厚く 淀屋橋・大江橋付近で88~92尺(26~28m)で 上町台地に向かって漸次薄くなり 遂には尖滅する。また 心斎橋以南の難波・今宮方面で薄く 約20尺以下で 御堂筋の北方梅田や西側の新町方面では梅田層が発達し 天満層の厚さは減少し 大阪駅付近で34~40尺(10~12m)となっている。中間粘土層は大阪駅の東方新淀川南端までで尖滅し 大江橋以南で漸

次厚くなり 心斎橋付近で32尺(11m)に達し 安治川下流では厚さ20尺程度である。

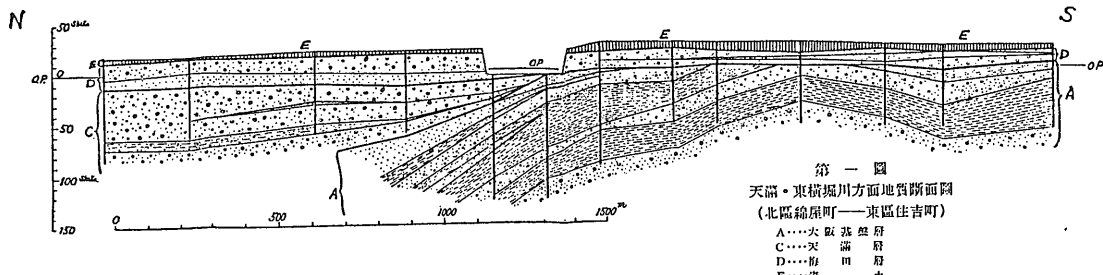
この調査は昭和初期の大阪市電気局(現交通局)の調査が主で 試料採取による試錐結果に基づいているが 調査技術は現在に比べ十分になかったことはあるが 地耐力についても述べてある。その後地質学の方面よりもむしろ建設技術者の間で支持層の意味で天満層の名称が使われてきたため かなりあいまいなところがあった。

そこで1966年「大阪地盤図」の作成に当たり 天満層として新しく定義された。その部分を次に引用しておく。

“天満層と呼ばれる地層の厳密な定義はいままで存在しなかった。ところが近年土質力学と地質学の研究やボーリング調査資料の整理が進むにつれて 天満層相当地層の定義を明確にする必要に迫られてきた。

山根博士の大阪表層地質断面は 現在では相当訂正しなければならない。逆にいえば 山根博士の定義した天満層というものは 最近の知識による地層名で示せば 西大阪では古いちゅう積層とこう積砂れき層をいっしょにしたものであり 上町台地西部備後町ではこう積砂れき層に当たるものである。

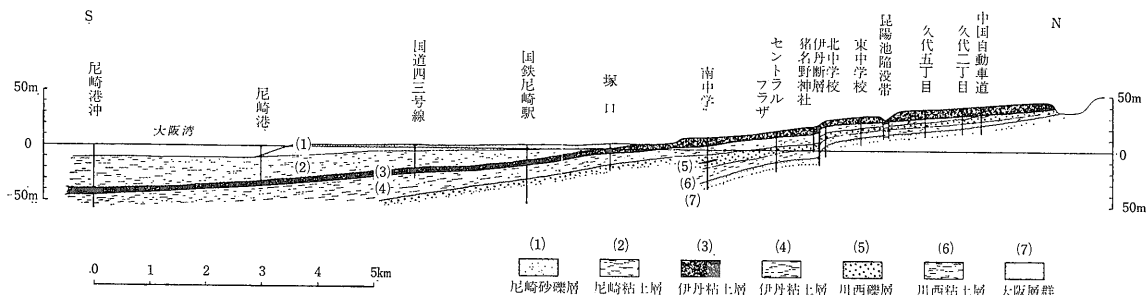
一般に天満層という地層名はかなり普及して使われており 慣用的にこう積砂れき層の意味に解釈されている場合が多いから 地盤図発刊を契機として最も新しいこう積層の固有名詞として天満層を新しく定義づけることとした。すなわち「天満層とはちゅう積層の下にある最も新しいこう積層の地層名とする。最も新しいこう積層は粘土層と砂れき層の1対よりなるものであってそれぞれ天満粘土層 天満砂れき層と称する。天満砂れ



第一図
天満・東横堀川方面地質断面図
(北區総原町—東區住吉町)

A……大阪基盤層
B……天満層
C……天満層
D……梅田層
E……泥土
O.P.……大阪特定水準層(中等水位の下限3.45)

第1図 天満・東横堀川方面地質断面図。縦軸のスケールが尺であることを注意



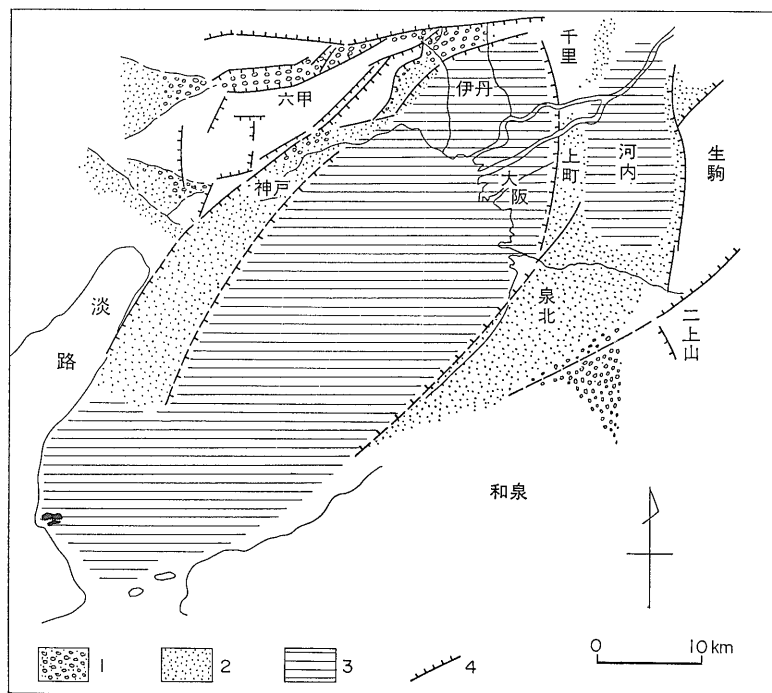
第2図 伊丹-尼崎-大阪湾を結ぶ南北の地質断面 (藤田・前田 1971)

き層はこう積三角州の上層部に相当する。天満層は最も新しいこう積層であるので 基礎工学上大そう問題の多い地層であり 大阪層群の地層とははっきり区別して取り扱わなければならない。”

上記の定義においても最も新しいこう積層といっても沖積層とこう積層の区別が問題であるため 地盤図では「砂れき層中でN値が $N=30\sim40$ に急増する境を一応ちゅう積 こう積の境界とした」という便法を採用している。

3. 天満砂礫層と伊丹礫層の形成史

天満砂礫層は地表に露頭しないため その研究はあま

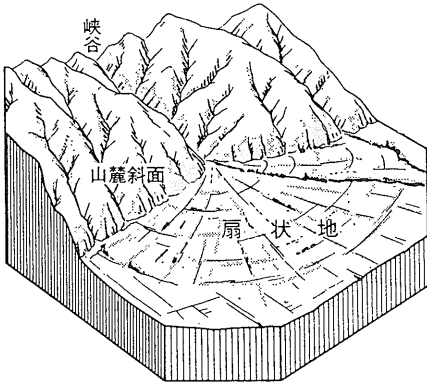


第3図 Ma 12 堆積時の古地理 (藤田原図) 1. 礫層 2. 砂層 3. 海 4. 衝上断層

り進まなかったが 伊丹礫層は伊丹台地に露頭しており 藤田・前田 (1971) によりかなり明らかにされている。そこで 本文では伊丹礫層から述べることにする。

伊丹台地・尼崎平野及び大阪湾にわたる南北方向の断面では 第2図に示したように伊丹台地では伊丹礫層は地表に露頭し 幾つかの平坦面を形成し 南部へ行く程深度を増し 大阪湾では30m以深に分布するようになる。このように南北に長く堆積している伊丹礫層はどのように形成されたのであろうか。

伊丹礫層堆積前の状態は Ma 12 の堆積と対応し それは年代的には12~13万年前の下末吉海進に当たる伊丹海進の時代で その時の海域は第3図に示したように大阪盆地の北部と河内盆地に広がり 伊丹盆地も奥深くまで海域となっていた。このように海域が拡大している状態では1000mに近い六甲山地が存在しているにもかかわらず 現大阪湾には砂礫の流入がなく 粘土層の堆積が行われたのである。その後の海退により水深が減じ ある程度水深に達すると砂礫が流入しやすくなり 三角州の前進が活発となる。伊丹盆地には上昇する六甲山地及び北摂山地から大量の碎屑物が供給され 武庫川・猪名川の大規模な山麓扇状地 (第4図) が複合して広大な砂礫原をつくった。これが伊丹台地であり それを構成するのが伊丹礫層ということになる。この砂礫層の先端は三角州をつくりながら海に向かって前進し Ma 12 を覆っていった。すなわち 伊丹粘土層と伊丹礫層は一連の海進・海退に伴う1組のデルタ堆積物として理解できる。



第4図 山麓扇状地



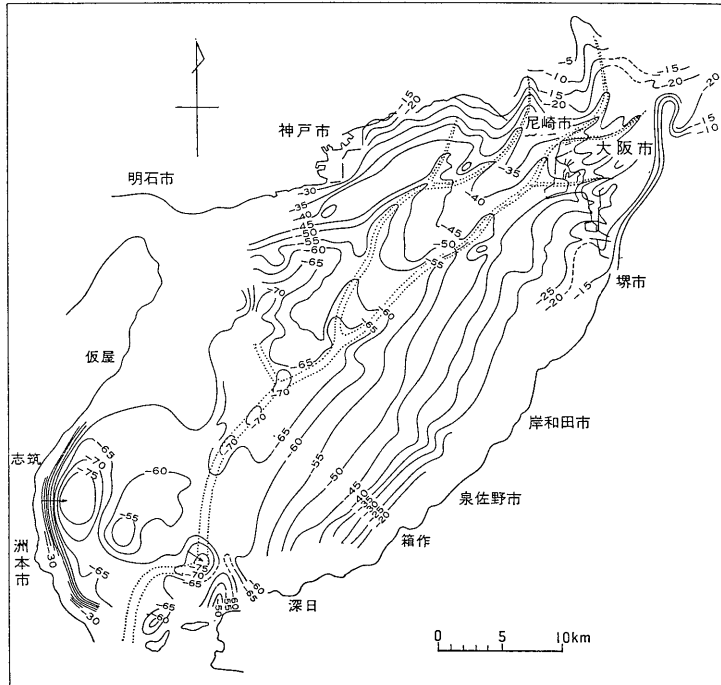
第5図 伊丹礫層 (前田保夫撮影)

伊丹礫層を構成するのは莫大な量の玉砂利(第5図)でこぶし大の礫を多く含み 礫の種類は運搬経路を反映し武庫川のは花崗岩礫が多く 猪名川のは流紋岩や中・古生層の礫が多い。

これに対し 大阪平野で呼ばれている天満砂礫層は伊丹礫層とどのような関係にあるのであろうか。六甲・北摂山地からの水系の三角州をつくった伊丹礫層が上町台地周辺や淀川水系に沿っても分布したのであろうか。

少なくとも伊丹礫層そのものの延長が淀川水系を上流に遡って分布するとは考え難い。

旧淀川水系には第3図で明らかなように 河内盆地というトラップがあり 更に上町台地を切って安治川方面に流れていた。しかし 時には猪名川・武庫川の押し出しによって 現安治川よりも南寄りに上町台地に沿って流路をとっていたとも思われる。このことは大阪湾の港大橋橋脚ケーソン工事でコブル級の円礫を含む粒度の大きい礫層を筆者らが観察していることから明らかである。

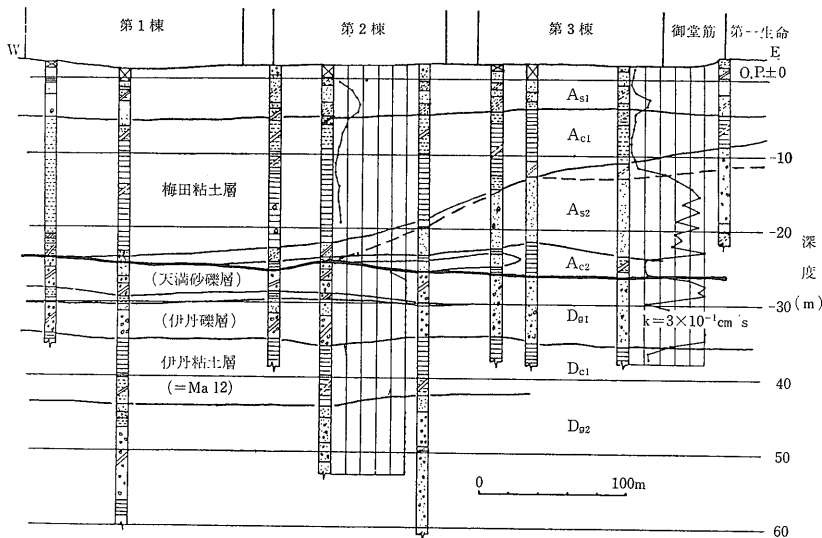


第6図 大阪湾沖積基底面と古大阪川

このように考えると 天満砂礫層は上町台地周辺に分布するが その下部の礫層は その全域にわたってMa 12を覆い Ma 12を底置層とする淀川水系の前置層のデルタ堆積物である。

したがって 天満砂礫層は武庫川・猪名川水系の伊丹礫層とは同時異相の淀川水系の礫層と考えるべきで 地下鉄工事中実際に見る機会が多かったものは 礫径も小さく礫種も異なりチャート礫が主で 恐らく大阪層群中の礫が再堆積し そのうち細粒のものが湾内に放出された残留礫であろう。

海水面降下とともに伊丹礫層の堆積が始まり その離水によって伊丹台地は完全に干上がり 武庫川・猪名川はともにこれを開析し 川筋をつくった。この時の川筋は大阪湾中央部で合し 大阪湾内の沖積層基底面等深線図(第6図)であらわされる古大阪川につな



第7図
大阪駅前地質断面図

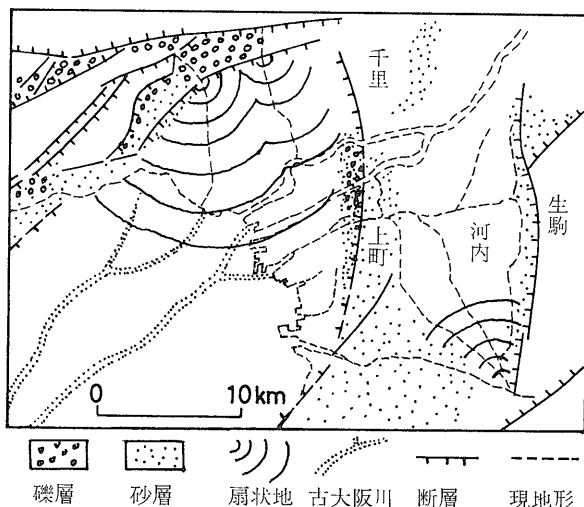
がる。その後海進があったが一時海水面の上昇が停滞した時期に一部粘土層を堆積しその後の海進時に低位段丘相当層の砂礫層が堆積した。

このような堆積機構を大阪駅前付近で示すと第7図のようになり下部の砂礫層が伊丹礫層相当層で上部の砂礫層が天満砂礫層といえる。大阪地盤図(1966)では沖積層と洪積層の境界を第7図中の破線のようにN値が30~40に急増するところにおいた。しかし大阪駅前再開発ビルの掘削現場の観察結果は沖積粘土層(A_{c1})とN値30前後の貝殻混じり砂層(A_{s2})の境界はなく次第に砂分が増加しA_{c1}層の異相であることがはっきりした。またその下部の腐植物を含む層(A_{c2})は前田(1977)が大阪港で観察した沖積下部の南港層と同時異相堆積層といえる。上記貝殻混じり砂層(A_{s2})は上町台地の西側の堺筋と松屋町筋の間で上町台地を構成する大阪層群の小崖にアバットし崖に沿って南北に延びている。また旧淀川筋に近い程ははっきりして層厚も厚い。当時の古地理的環境を考えると淀川水系は広義の大阪盆地に入ってもいったん河内盆地に停滞水域をつくりその溢水が千里丘陵と上町台地を結ぶ隆起帯を先行的に切って大阪湾に流入していた。そのため淀川水系は狭義の大阪盆地に入る頃には粗粒碎屑物の運搬能力は小さく海岸砂の供給源は主として上町台地を構成する大阪層群の砂礫層であったと推定されそのうち粗粒のものは上町台地西側に出た付近で堆積し砂分は沿岸波浪によって南に運搬され海岸砂州として堆積したものとみられる。このような堆積環境は沖積砂層のみではなく天満砂礫層についてもほぼ同様であったと考えられるので天満砂礫層の堆積は旧淀川によ

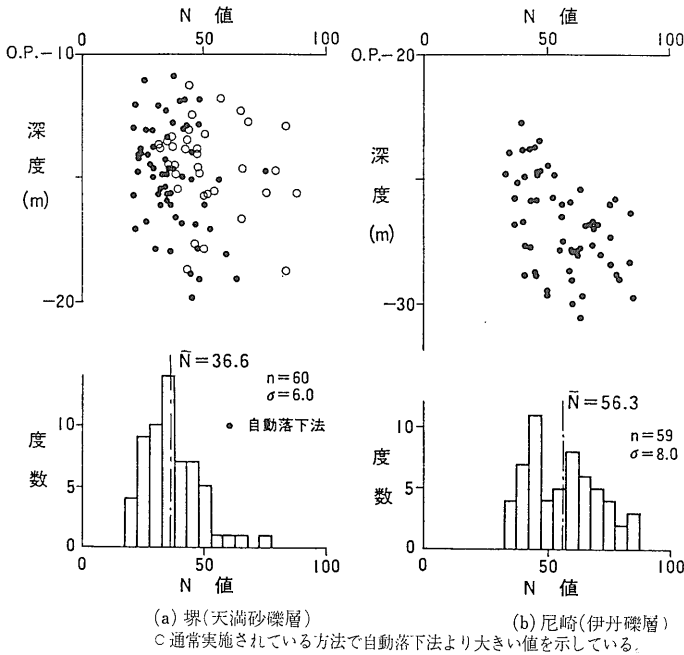
り運搬された上町台地西縁沿いの限られた地域のみといえる(第8図)。

芦屋川より西方への伊丹礫層の連続性はポートアイランドや六甲アイランドでの数多くのボーリングにより明らかにされ礫層の堆積状態は尼崎沖とは非常に異なっている。まず層厚が非常に厚く神戸沖が沈降地帯であることを示しまた礫層中に何枚もの腐植土層がみられる。これらの層については六甲アイランドで連続サンプリングを行い詳細な調査が実施されているのでその結果により詳細な自然史が早晚明らかにされるであろう。

また大阪南部の堺臨海部でも天満層といわれている



第8図 伊丹礫層堆積時の古地理図



第9図
天満砂礫層及び伊丹礫層の N 値の分布

ものの層厚が大坂湾に比べ厚く かつ粘土層と互層状態である。更に南部の泉南地方にも天満層相当層の堆積がみられるが これらについては新空港の調査結果によっていずれ明らかにされよう。

一方 河内盆地は第3図で明らかなように Ma 12 堆積時には海域であり そこに南より大和川・石川が河内盆地へと流入していた。したがって伊丹台地と同様に海退時には大和川からの砂礫の供給により三角州が発達し 河内盆地南部に厚い砂礫層の堆積がみられ 河内盆地中央及び淀川近くでも Ma 12 の上位に砂礫層の堆積がみられるが 地質学的な詳細な調査はされていない。

しかし 第6図で明らかなように 大阪湾の沖積層の下位には沖積層と締め具合の明らかに異なる反射層が連続してみられ 大阪湾や尼崎での調査から この層は伊丹礫及び天満砂礫相当層であるといえ それぞれ各地区で異なった後背地から供給された砂礫が堆積したといえる。

4. 力学的性質

地盤工学では地盤の力学的性質の一指標として 標準貫入試験結果の N 値がよく用いられる。 N 値とは 63.5 kg の重りを高さ 75 cm から落とし そのエネルギーで円筒形サンプラー (外径5.1cm 内径3.5cm 長さ81cm) を地盤中に貫入させ 30 cm 貫入させるに必要な打撃回数をいい 地盤の締め具合を調べるために最もよく用い

られる調査法で 砂層や砂礫層ではこの N 値を用いて構造物基礎の設計が行われている。 標準貫入試験は 30 cm 貫入できない場合は通常50回打撃で終了し $N > 50$ と表示する。 砂礫層ではほとんど $N > 50$ となる。これは砂礫層では礫がサンプラー先端にあたり 貫入抵抗が大きくなるため打撃回数が増え あまり正確ではないが これ以外に現在適当な調査法がないため 砂礫層に対しても標準貫入試験が多用されている。

西垣 (1983) は堺臨海埋立地の天満砂礫層と 尼崎市臨海部の伊丹礫層での標準貫入試験の調査結果の比較を行った。ただし 両地区とも重りの落下法として自動落下法を用い $N > 50$ については50回貫入量より 30 cm 貫入打撃数を比例的に求めてその N 値とした。堺での N 値の分布は第9図に示したように 平均値 $\bar{N} = 36.6$ で その分布は正規分布に近い。一方 尼崎の伊丹礫層は $\bar{N} = 56.3$ と前者に比べ平均値が大きい。この理由は伊丹礫層は大径の礫を多く含むためと考えられる。また N 値の分布も二つのピークがみられ 堺の結果とは異なる。この理由は前述したように伊丹礫層には海退時に堆積したものと 海進時に堆積した2種類があり 海退時に堆積した表層の砂礫は風化作用により細粒分を増して強度的に低くなっているためである。

力学的性質を調べる他の方法としては地盤の試料を乱さない状態で採取して室内試験を実施する方法がある。最近 緩い砂を採取するサンプラーが開発され多くの試

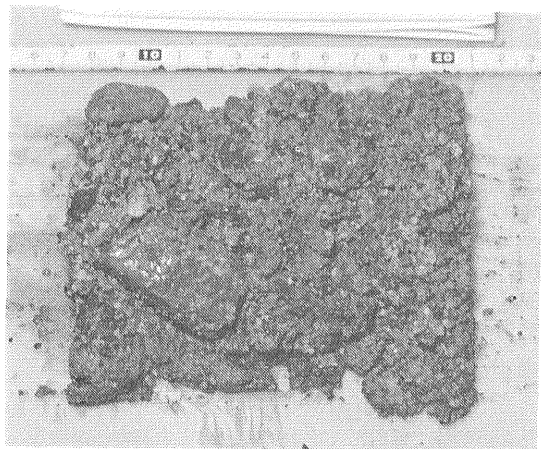
第1表 天満砂礫試料の試験結果

供試体番号	採取場所	N値	採取法	試験法	供試体寸法 cm	供試体直径 最大粒径	$\phi_a(\phi')$	間隙比
I	難波	42	ブロック	C \bar{U}	15×30	31.5	(37.5)	0.52
				CU	10×20	21.0	38.0	0.52
II	界臨海	—	ブロック	CU	15×30	15.8	38.5	0.50
III	大阪南港	45*	大型貫入	CU	5×10	5.3	43.0	0.46
IV-1	大阪駅前	73*	大型貫入	C \bar{U}	5×10	1.6~2.8	(45.0)	0.3
IV-2		56*		C \bar{U}	5×10	1.3~3.3	(42.5)	0.3

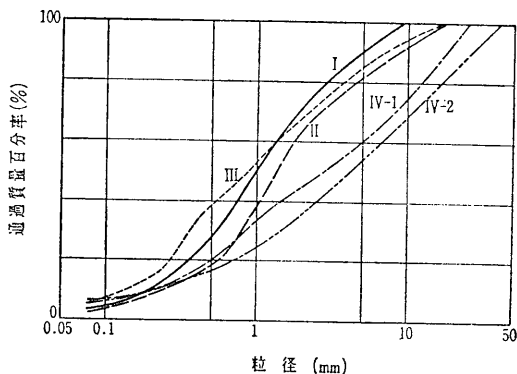
* 大型貫入試験結果からの換算値

試験結果を得ているが 砂礫層を採取できるサンプラーは少ない。そこで 砂礫層に対しては掘削工事現場で砂礫層をブロックで採取し それを試験する方法がある。西垣(1983)はこのようにして採取した天満砂礫層の試験結果を第1表に示した。試料の粒度や間隙比は採取場所で異なり 粒度分布は第10図に示したようにIV試料が他よりも礫分(径2mm以上を礫と呼ぶ)が多く この試料の試験後のサンプルは第11図のように40mmの礫を含み この供試体径が5cmであるため その比が1に近い。間隙比はIV試料が特に小さいが これは大きい礫を含んで供試体密度が大きいためである。この試料の採取場所近くの揚水試験結果では透水係数が $k=3 \times 10^{-1}$ cm/sec と透水性がよいことから 地盤の間隙比は更に大きいと思われる。

IV試料の圧密非排水試験結果を第12図に示した。図から次の二つのことがわかる。 $\sigma_s=10$ kgf/cm²の試料は他の試料より弱く 軸ひずみが15%でもピーク強度がみられず この試料だけが正の間隙水圧が発生している。これは試料準備時に試料を乱してしまったためである。



第11図 天満砂礫の三軸試験供試体



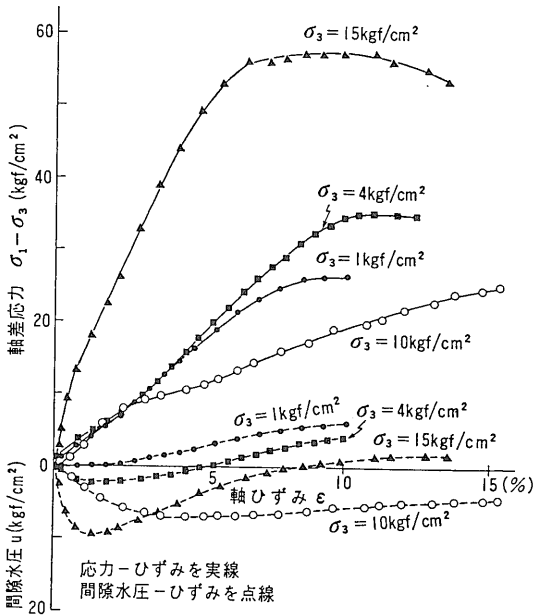
第10図 天満砂礫の粒度分布

もう一つは $\sigma_s=10$ kgf/cm² 以外の試料では 負の間隙水圧を発生し その値は -1 kgf/cm² 以下の大きな負圧となっている。これは試料が非常に締まっているためせん断時に体積膨張しようとしていることを示している。

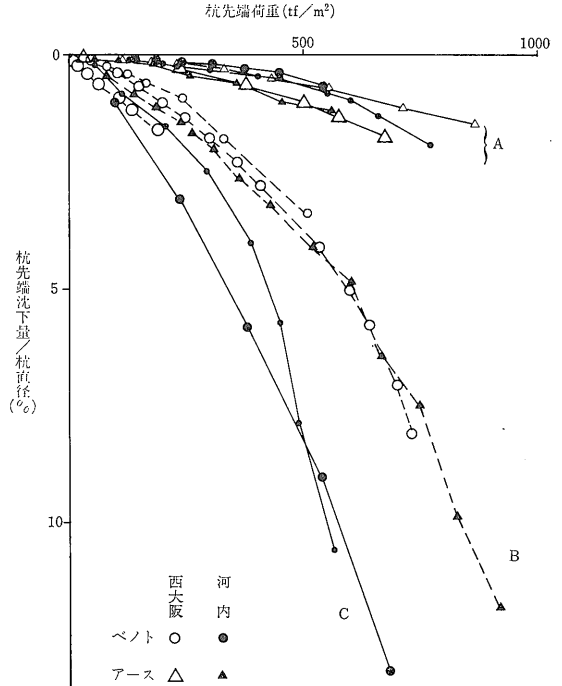
直径5cmの試料の内部摩擦角 ϕ が40°以上で他より大きい。これは礫径に対し供試体寸法が小さかった影響と考えられるので 天満砂礫層の内部摩擦角は $\phi_a = \phi' = 38^\circ$ とみなせる。N値から ϕ を求める現在の設計法では $\phi = 45 \sim 50^\circ$ となり 実測値はこれよりも小さい。現在設計に用いられているN値と ϕ の関係は実測値ではなく経験式であり 問題があるといえる。

5. 支持力

天満砂礫層は大阪平野における支持層として非常に重要な層である。従来の基礎工法として 打込み杭が主であったが 最近は振動騒音問題から場所打ちコンクリート杭が多くなっている。場所打ちコンクリート杭とは 地盤を掘削機械で所定の径の孔をあけ その孔にコンクリートを打ち 地盤中にコンクリート製の杭を施工するものである。



第12図 N試料三軸試験(CU)結果



第13図 天満砂礫層の場所打ち杭打ち杭載荷試験結果

天満砂礫層に支持させている現場打ち杭の載荷試験のうち 杭先端荷重の測定が実施された結果を 横軸を杭先端荷重 縦軸を杭先端沈下量/杭直径で示すと第13図のようになる。杭の施工法はアースドリル工法とベント工法で 杭径は $\phi 1,000 \sim 2,070\text{mm}$ である。施工場所は西大阪のみでなく河内盆地も含まれている。これらの結果沈下量比の少ないものからA・B・Cの3グループに区分される。一般に許容支持力として約 $300 \sim 350\text{t/m}^2$ という値が慣用値として採用されているが 沈下量の多いCグループでも 杭径の5%ではほぼその荷重度が得られ 沈下比が中程度のBグループでその倍程度の荷重度が得られる。

第13図の3グループは地域的な差でもなく 施工法による差でもない。現場打ち杭は掘削時に孔底が乱れかつ掘削屑が孔底に残る。砂礫地盤が乱れると乱さない状態と比べ力学的挙動が変化し 強度が低くなることは第12図で述べたとおりである。したがって 杭の支持力は孔底の状態が決まる。すなわち 杭の施工の良否で大きく左右されるため 従来の打込み杭に比べ先端支持力はかなり小さいといえる。

6. あとがき

天満層の名称は昭和初期以来 大阪平野の地層名とし
1985年4月号

て主として建設技術者の間で使われてきたが 前述のようにその定義はあいまいであった。海進・海退時に堆積した1組のデルタ堆積物としての天満層のうち底置層の粘土層は連続性が良く 天満粘土層というよりもむしろ Ma 12 として一般化しつつある。しかし その対である天満砂礫層は上町台地西縁の限られた地域だけに分布し むしろ伊丹礫層の方が広範囲に分布しているがそれらの同時異相は大阪湾全体に分布する可能性があることを述べたが 本文をまとめていてこれらに共通の名称が必要な時期にきたのではないかと思われる。そのためにも関連地域の研究成果が期待される。

参考文献

藤田和夫・前田保夫(1971): 伊丹段丘 伊丹市史第1巻
前田保夫(1977): 大阪湾の自然科学 vol.47 no.9 pp. 514-523.
日本建築学会近畿支部 土質工学会関西支部(1966): 大阪地盤図 コロナ社
西垣好彦・竹中準之介(1975): 標準貫入試験の基礎的研究(Ⅳ) 第10回土質工学研究発表会 pp.27-30.
西垣好彦(1983): 天満砂礫層の力学的特性と地下水位変動 土と基礎 31-2 pp.33-38.
山根新次(1930): 大阪市地質概観 小川博士遷曆記念地学論叢 pp.187-203.