

歴史的経緯からみた福山市の地盤特性の評価

福山大学工学部 正員○西原 晃
福山大学工学部 正員 千葉利晃
福山大学工学部 正員 田辺和康

1. はじめに

福山市内の地盤のうちで自然的につくられた部分はきわめて狭く、大部分は1600年代前半から1970年代にかけて干拓あるいは大規模埋立てによって人工的に造成した土地である。表層の下は深さ10～20m付近まで沖積層が堆積し、そのほとんどは軟弱な粘土・シルト層である。福山市内での建設工事においては、この軟弱粘土層の特性の評価が重要である。本研究は、公表されている地盤情報¹⁾に基づいて、福山市内の地盤に関するデータベースを作成し、地盤の堆積環境ならびに干拓、埋立の影響を考慮に入れて、現在の福山市内の地盤特性の評価と分類を行ったものである。

2. 福山市地盤の概況

福山市内の地盤をその成り立ちと造成時期によって分類すると、図-1、表-1のようになる。福山市内の造成の歴史は江戸時代水野氏の入封以後に始まる。Aの地域は芦田川旧河口に形成されていた三角州であり、水野氏の入封時にはすでに陸化していた部分である。この部分は図-2の柱状図に示すように、深さ5m付近まで、N値5～10程度のゆるい砂層が堆積している。水野氏による大規模造成工事は大きく2期に分けられる。B₁の地域は1600年代前半、三角州前面の潮汐平地とその周辺の溺れ谷状埋積平地を干拓によって造成したものである。B₂の地域は、1600年代後半にさらに干拓によって拡張された地域である。Cの地域は、江戸末期から明治時代初期にかけて干拓された地域であり、古干拓地（B₁、B₂）との間に約200年の時間的な開

表-1 福山市内地盤の区分

地域区分	地盤区分	造成時期
A	扇状地	
B ₁	干拓地	1600年代前半
B ₂	干拓地	1600年代後半
C	干拓地	1800年代後半
D	埋立地	1960年代
E	埋立地	1970年代

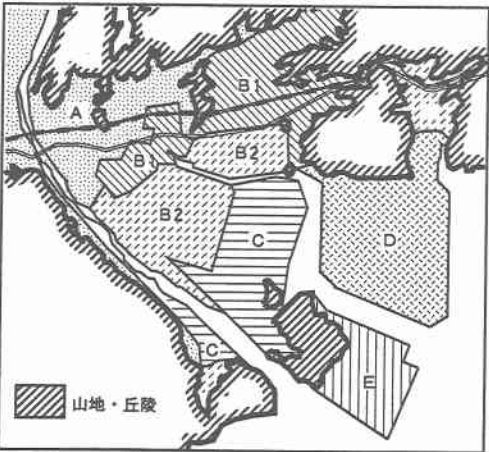


図-1 福山市内地盤区分

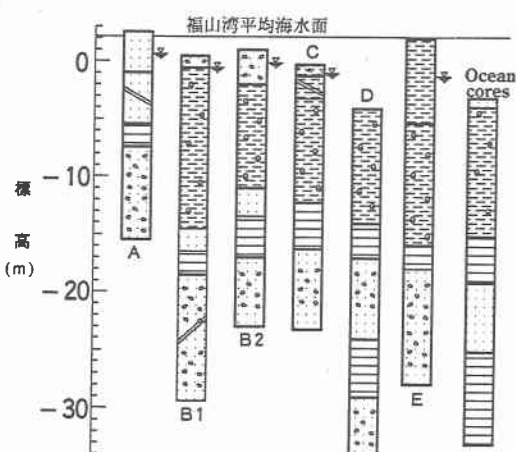


図-2 各地域の地盤柱状図

きがある。

D地区は、1960年代にNKKの福山誘致にともなって、大規模埋立によって造成された地域である。当時の海底面は海面以下3m付近にあり、これを海面以上5.1mを基準として埋め立てられた。高炉建設地など地耐力の必要な部分は山土、その他の部分はシルト吹き込みによる軟土埋立が行われ、圧密を促進するために各種ドレーン工法が採用されている。Eの地区は、臨海工業用地として、1970年代に埋め立てられた地域である。

図-2の柱状図からもわかるように、三角州のA地域を除いて、層厚約10mの軟弱なシルト層 ($w_L=80\sim 130\%$, $w_P=25\sim 40\%$) が広がり、その下はやや硬質の粘土 ($w_L=50\sim 80\%$, $w_P=20\sim 40\%$) と砂層をはさみ、深さ20m付近からは洪積砂礫層となっている。

3. 沖積粘土層の圧密履歴

図-3は、福山港周辺の海底から採取された試料から求めた有効上載圧 (p_o) と先行圧密圧力 (p_c) の深さ方向分布を示したものであり、海底粘土層はほぼ正規圧密状態にあることがわかる。図-4、5は干拓地であるB地域とC地域の結果であり、過圧密状態の地盤が多く見られるようになる。また、過圧密の程度は古い干拓地 (B) ほど大きく、これは都市の形成と発達過程における外力の作用による圧密の影響によるものと考えられる。実際に、図-5の比較的新しい干拓地 (C) では、表層部と深さ12m付近に存在する砂層に近い部分ほど先行圧密圧力が大きく、現在も圧密が進行中であることをうかがわせる。

図-6は埋立地域D (軟土埋立部分) の結果で、深さ6~8mまでは埋立土である。この地盤の特徴としては、地盤全体が過圧密状態であり、先行圧密圧力の深さ方向分布が有効上載圧に平行な狭い範囲にあることである。すなわち、この地盤では外力が広い範囲にわたって均一に作用し、また粘土層の圧密が均一に進行したことがわかる。先述のように、この地域では圧密促進工法が用いられており、埋立時の締固めの影響とその後の交通荷重などの継続的な外力の作用によって短期間のうちに圧密が進行したといえる。

図-7は1970年代の大規模埋立地域Eの結果である。図中には、海底試料の結果から予想した埋立前の有効上載圧を示しているが、地盤全体にわたって先行圧密圧力は埋立前と現在の有効上載圧の間にあり、また、表層および深さ20m付近に存在する砂層に近い部分ほど先行圧密圧力と有効上載圧の値が近い。この地域では約5~10mの厚さで埋立が行われており、その重量による圧密が現在も進行中であることがわかる。

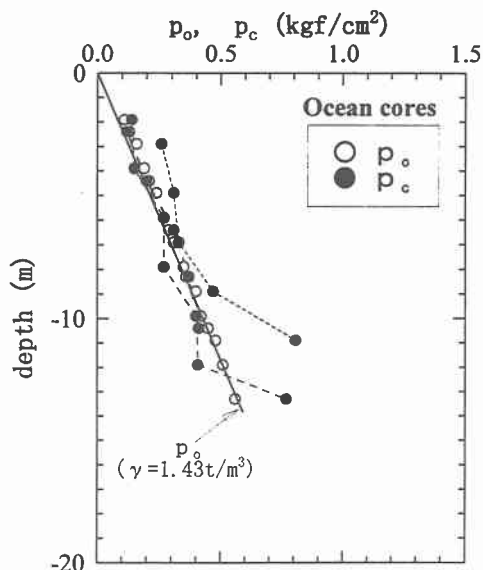


図-3 海底部粘土層の圧密状態

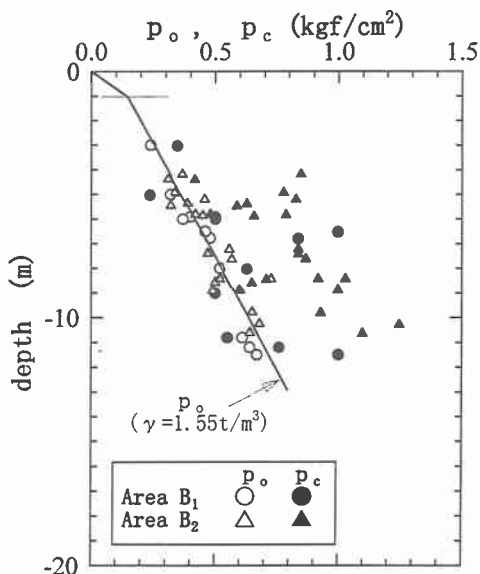


図-4 干拓地 B1、B2 の圧密状態

4. 福山粘土の自然堆積特性

自然堆積粘土の力学特性は、堆積後の時間的な続成作用の影響により、練返して乱した粘土の特性と異なっていることが知られている。筆者らは粘土の圧縮特性における続成作用の影響を評価する基準として、練返し再構成粘土の圧縮特性を统一的に表す圧密基準曲線(normalized compression curve)を提案している²⁾。それによれば、続成作用を受けていない粘土の圧力と間隙比の関係は次のように表される。

$$e^* = 1.4 - 0.8 \log p \quad (1)$$

e^* は粘土の液性限界の影響を考慮した間隙比で、

$$e^* = \frac{e - 0.35}{w_L - 0.1} \quad (2)$$

である。ただし、液性限界 w_L は%表示ではなくて比を用いる。 e^* を用いると、練返し粘土の圧縮曲線は液性限界に関係なく式(1)の関係式に沿った狭い範囲に集まる。

Skempton³⁾は正規圧密と想定される地盤の深さ方向の有効上載圧と自然間隙比の関係を調べ、その関係が自然堆積状態におけるその粘土の圧縮曲線を表しているとして自然堆積曲線(sedimentary compression curve)と名付けている。図-8は、Skemptonが報告している結果を e^* を用いて整理したもので、図中の実線は式(1)の圧密基準曲線を表している。図より、 e^* を用いると、自然堆積曲線は液性限界に関係なく、圧密基準曲線にほぼ平行な狭い

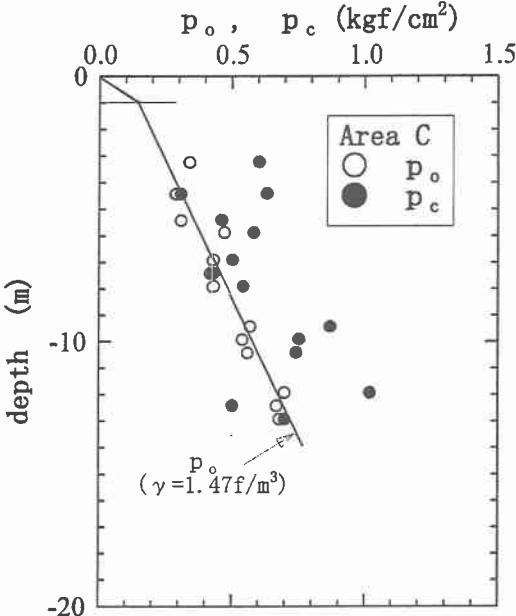


図-5 干拓地域 (C) の圧密状態

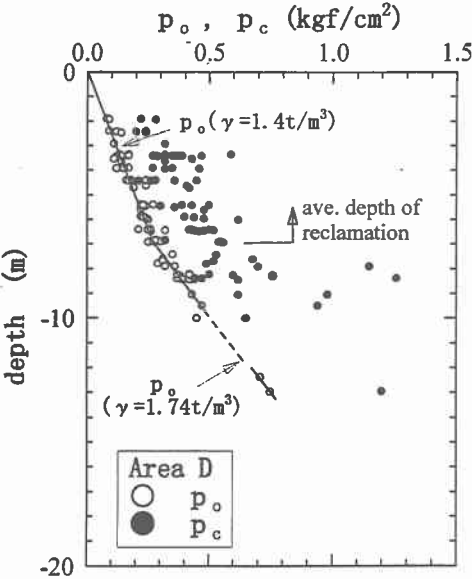


図-6 埋立地域 (D) の圧密状態

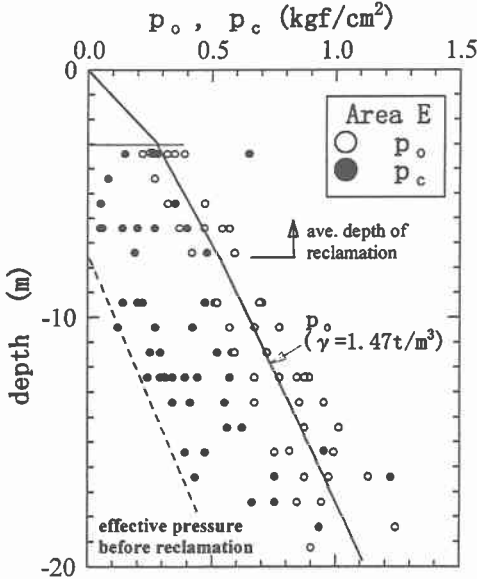


図-7 埋立地域 (E) の圧密状態

帯状の範囲に集まることがわかる。この自然堆積曲線と圧密基準曲線の差異はその粘土の堆積環境とその後の続成作用の影響を表していると考えられる。図-8には、福山付近の海底サンプリング試料の結果も示しているが、福山粘土の自然堆積曲線はSkemptonが報告しているヨーロッパ諸国の粘土とほとんど同じであることがわかる。ただ、ヨーロッパ粘土に比べてわずかに圧密基準曲線から離れる傾向にある。

自然堆積曲線には、粒子間におけるセメンテーションの発達などの粒子構造の強化の他に、堆積後の長期間にわたる二次圧密の影響も含まれる。ところで、埋立地域Eは埋立土による大きな圧力のもとで現在圧密が進行中であり、埋立後の経過時間もそれほど長くないことから、二次圧密の影響は少ないといえる。図-9は地域Eの自然間隙比と先行圧密圧力を用いて求めた自然堆積曲線であり、海底試料の自然堆積曲線と差異がなく、福山粘土は二次圧密の影響をあまり受けていないことがわかる。現在のところ、データ数が少ないので明確なことはいえないが、おそらく福山粘土の自然堆積曲線は図の破線のようにすると予想される。この自然堆積曲線は、その地盤の正規圧密状態の圧縮特性を示すものであるから、これを基準として福山市の地盤の圧密履歴を詳細に調べることも可能であろう。

5. おわりに

江戸期から現在にいたるまでの干拓と埋立の歴史を考慮しながら、粘土層の圧密履歴に注目して、福山市内の地盤特性の評価を行った。その結果、これまでの干拓・埋立の影響がそれぞれの地域の粘土層の圧密状態に明確に現れていることがわかった。また、福山粘土の自然環境における圧縮特性を表す自然堆積曲線を求めることができた。粘土層の圧密履歴は地盤の沈下予測だけでなく強度特性にも関係する。今後は今回の成果をもとに、さらに総合的にかつ詳細に福山市の地盤の特性評価を行う予定である。

なお、本研究は土木学会中国支部研究助成金（B）の支給を受けて行われたものである。

参考文献

- 1) 日本建築学会中国支部(1987)：広島県東部地盤図
- 2) 柴田徹・西原晃(1997)：練返し再構成粘土の圧密基準曲線, 第32回地盤工学研究発表会概要集, Vo. 1, pp. 389-390
- 3) Skempton, A. W. (1970) : The consolidation of clays by gravitational compaction, Q. J. Geol. Soc. No. 125, pp. 373-411

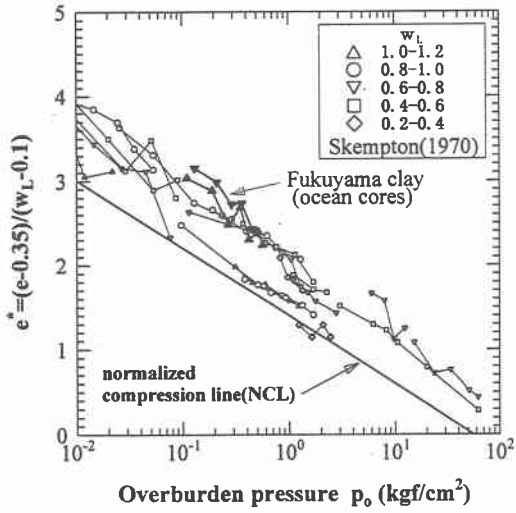


図-8 自然堆積曲線

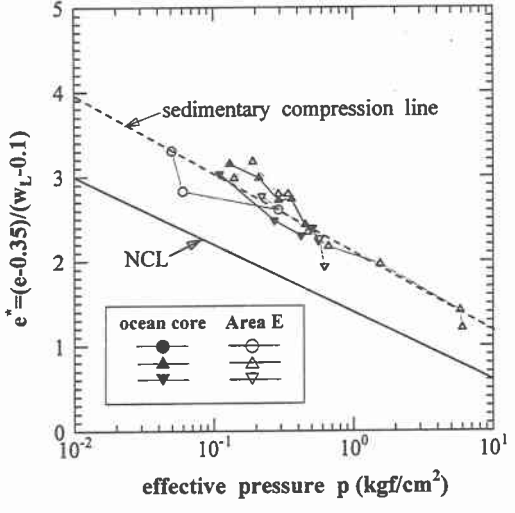


図-9 福山粘土の自然堆積曲線