

3. 3 地震による過剰間隙水圧と地盤の支持力

3. 3. 1 まえがき

地震によって砂質土地盤は液状化することがあるが、かならずしも完全液状化に至らない場合がある。しかし、地盤内には過剰間隙水圧が発生しており、有効応力の低下により地盤の支持力が減少する。したがって、地盤上に建設された構造物は、かならずしも地盤が液状化しなくても、倒壊することがある。

地盤の支持力の減少量を求めるには、地震によって発生する地盤内の過剰間隙水圧の深さ方向の分布を算定せねばならない。この算定手法は液状化の判定に比べて提案されているものが少ないし、的確な算定法はほとんどない。このことは、直接構造物等の被害に結びつくので、重要である。

ここでは、地震動による過剰間隙水圧の算定を、液状化判定に対する抵抗値 F_L 値を使用して、各深さにおける過剰間隙水圧を推定することにする。このような手法はまだ試みられたことはないし、精度の点からも十分であるとはいえない。しかし、実地盤に対して的確に過剰間隙水圧を求めること自体が困難であるので、手法が簡単であれば、現時点ではこの程度の精度で過剰間隙水圧の予測を行ってもよいのではなかろうか。

そして、この手法により松山市における重信川および石手川周辺の地盤内過剰間隙水圧分布を推定し、地盤の安定性を検討するための資料とした。

3. 3. 2 地震による過剰間隙水圧の推定法と支持力の算定法

液状化の判定には各深さの F_L 値を求めこれを深さ方向に積分した P_L 値を使用する。

F_L 値の説明やそれを求める方法は前年度の報告書に記されているので、ここでは再度記さない。

F_L 値は基本的に動的せん断強度と地震時のせん断応力の比である。したがって、 F_L 値が1になれば液状化が生じることを意味しているのので、このときは有効上載圧と発生過剰間隙水圧が等しくなるとする。したがって、この場合には有効上載圧はゼロとなる。また、 F_L 値が1よりも大きくても、地震による繰返しせん断応力が作用すると、それに応じた過剰間隙水圧が発生する。しかし、ここでは、 F_L 値が3になるとほとんど過剰間隙水圧が発生しないとして、 $F_L > 3$ では発生過剰間隙水圧をゼロとする。そして、便宜上、 F_L 値が1と3の間では発生過剰間隙水圧は初期有効上載圧とゼロの間で直線的に変化するとする。

このようにすれば、各地点での地震の大きさに応じて発生する過剰間隙水圧の深さ方向の分布が求められる。この過剰間隙水圧の分布を考慮して支持力を次のようにして求める。地盤内の間隙水圧分布を考慮した支持力の計算を精度よく行うには数値計算によらねばならない。しかし、ここでは発生過剰間隙水圧の推定の精度を考えて、簡単に行えるテルツァギーの支持力公式を適用する。地盤内に過剰間隙水圧の分布を考慮すると、その分布状態によってすべり面の形状が変わるが、ここでは近似的にテルツァギーの支持力公式で用いられている図-1のすべり面を仮定する。そして、テルツァギーの式を変形すると、過剰間隙水圧の発生による支持力の低下量 Δq は次式のようになる。

$$\Delta q = \frac{2N_q}{B \cos \phi} \cdot \int_0^{\frac{B}{2 \cos \phi}} \left(\frac{3\pi - \phi'}{2} \right)^{2m} \times \Delta u \cdot e^{-\left(\frac{3\pi - \phi'}{2} \right)^{2m}} \rho BF$$

ここに、 B ：基礎幅、 ϕ' ：せん断抵抗角、 Δu ：図-1のBF上の過剰間隙水圧の分布、 e ：指数、 ρ ：対数らせんの動径である。

3. 3. 3 支持力の低下量の算定例

ここで、以下のような場合を想定して、支持力の算定を試みる。地震による最大加速度は 1.50 g と

した。前年度の報告で松山市における最大加速度は計算上 420 gal とされているが、 420 gal を想定するほとんどの地域で液状化が生じるので、上記の値とした。モデル基礎として、 $B=5.0 \text{ m}$ 、根入れ深さ 5.0 m の帯状基礎とし、地下水面は地表から 1.0 m 、 $\phi' = 30^\circ$ とする。

対象とした地盤は河川沿いの下記の A～D の 4 地点である。

A：松山市西垣生（重信川流域）

B：松山市天山町（石手川流域）

C：松山市余戸町（重信川流域）

D：伊予市下吾川

A～D 各地点のボーリング柱状図を図一 2, 3, 4, 5 に示す。この柱状図に示されている N 値から、最大加速度が 150 gal のときの FL 値の深さ方向の分布を示したのが図一 6, 7, 8, 9 である。この FL 値から過剰間隙水圧および地震時の有効上載圧の深さ方向の分布を示したのが図一 10, 11, 12, 13 である。

これらに基づいて、各地点での過剰間隙水圧発生による支持力の減少量を示したのが表一 1 である。地震時でない場合の支持力は、N 値以外の地盤条件が同じであるので、 $q = 298 \text{ tf/m}^2$ である。この表には液状化の判定に使用する P_L

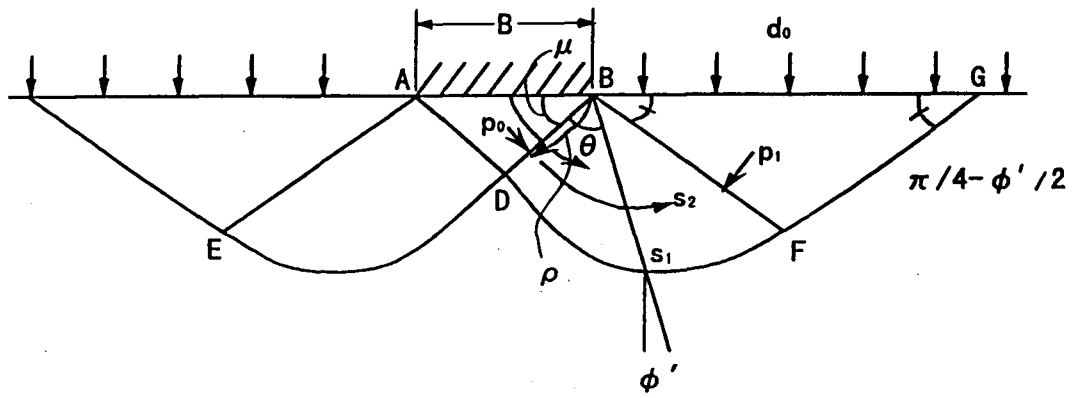
値も併せて示されている。表一 1 からこれらの地盤では最大加速度が 150 gal では液状化の可能性が非常に高いとはいえないが、支持力が $45 \sim 80\%$ 減少している。また、 P_L 値が大きいところほど支持力の減少量が大きくないのは、 5 m の根入れの影響であろう。すなわち、支持力が P_L 値の割には大きいところは、地盤の比較的深い部分での F_L 値が小さく、浅い部分で大きいと考えられる。

3. 3. 4 あとがき

地震時の液状化の判定に使用する F_L 値から地盤内の地震時の過剰間隙水圧の推定法を提案し、これにより発生過剰間隙水圧の深さ方向の分布を求めることにより地盤の支持力の減少量を計算する簡単な手法を示した。この手法により松山市を中心とする河川流域での支持力の減少量を計算した。その結果、地震による過剰間隙水圧の発生で支持力が $45 \sim 80\%$ 低下することが分かった。基礎の破壊による地震災害の予測に役立てばと考えている。

表一 1 各地点における支持力の減少量と P_L 値

	地 点	地震による支持力の低下量 (tf/m^2)	P_L 値
A	松山市西垣生	139.38	6.53
B	松山市天山町	160.08	4.37
C	松山市余戸町	248.40	3.60
D	伊予市下吾川	184.92	3, 55



図一1 テルツァギーの支持力式に対するすべり面

標尺 m	地質名	N 値	10cm毎の 打撃回数			N 値 の 変 移				
			10 cm	20 cm	30 cm	0	10	20	30	40
1	砂質粘土	7	1	2	4	●	●	●	●	●
	粘土質細砂	17	5	5	7					
2	礫混じり粗砂	22	7	7	8	●	●	●	●	●
		7	2	2	3					
3	礫混じり粘土質粗砂	31	8	10	13	●	●	●	●	●
		33	10	11	12					
4	礫混じり粗砂	33	10	11	12	●	●	●	●	●
		33	9	10	14					
5	礫混じり中砂	31	8	10	13	●	●	●	●	●
		31	8	11	13					
6	シルト質細砂	34	9	12	13	●	●	●	●	●
		13	4	4	5					
7	シルト質細砂	9	3	3	3	●	●	●	●	●
		9	3	3	3					
8	砂質シルト	37	8	13	16	●	●	●	●	●
		32	7	13	12					
9	火山灰	32	7	13	12	●	●	●	●	●
		12	5	3	4					
10	シルト質細砂	12	5	3	4	●	●	●	●	●
		56	21	22	13					
11	粘土質砂礫	44	18	26	—	●	●	●	●	●
		72	47	25	—					
12	粘土質砂礫	72	47	25	—	●	●	●	●	●
		64	18	25	26					

図一2 A地点のボーリング柱状図

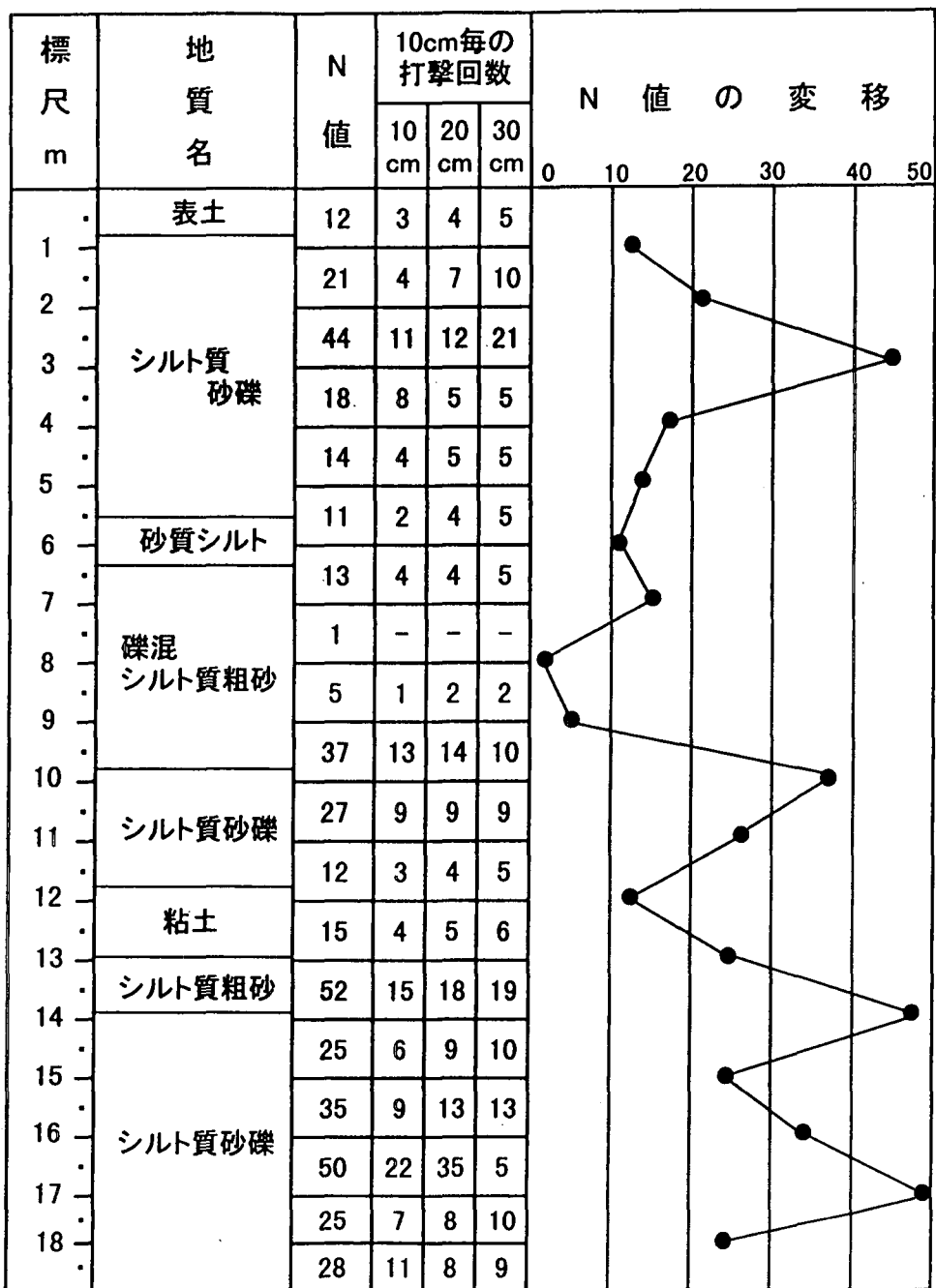


図-3 B地点のボーリング柱状図

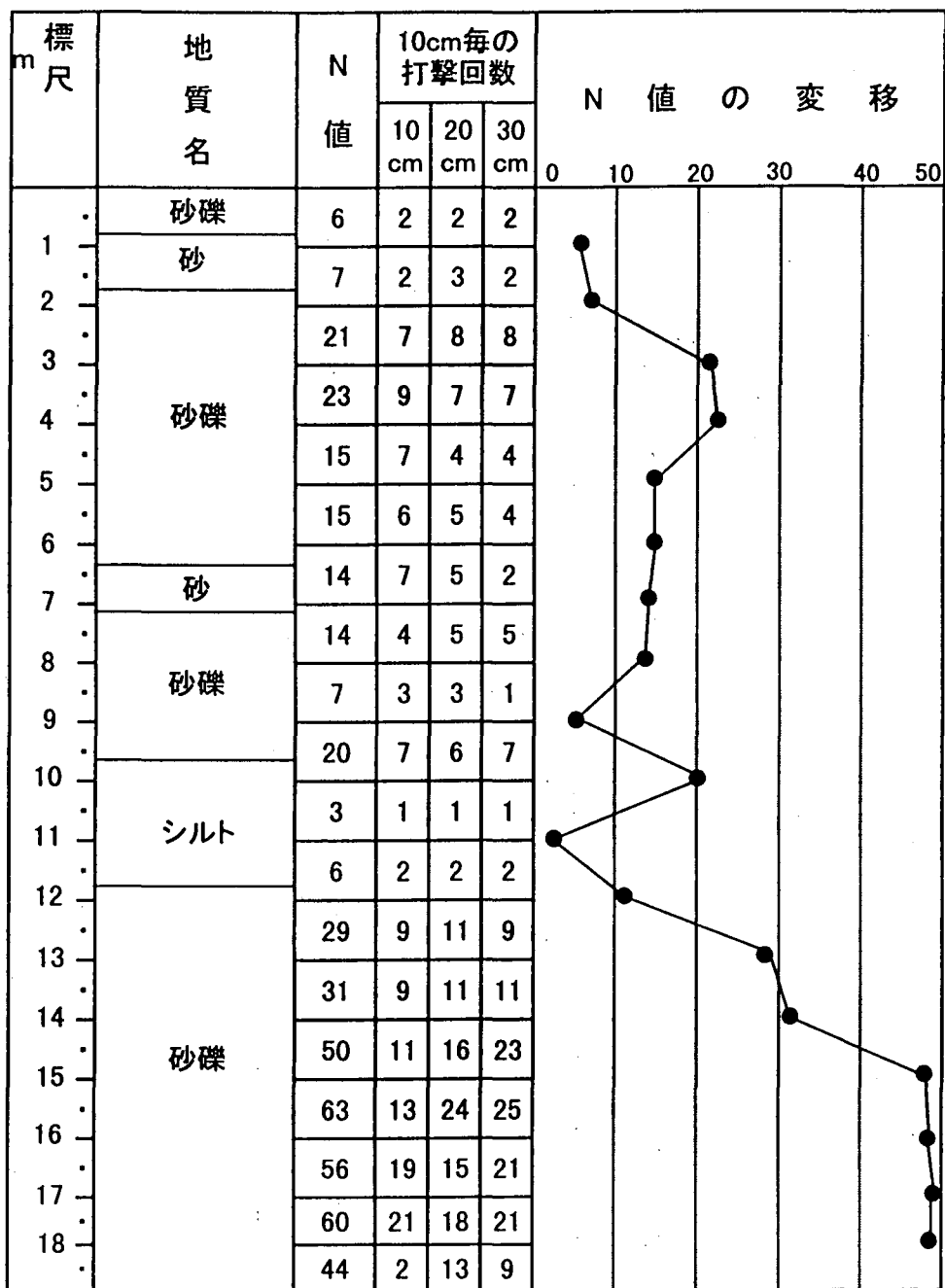
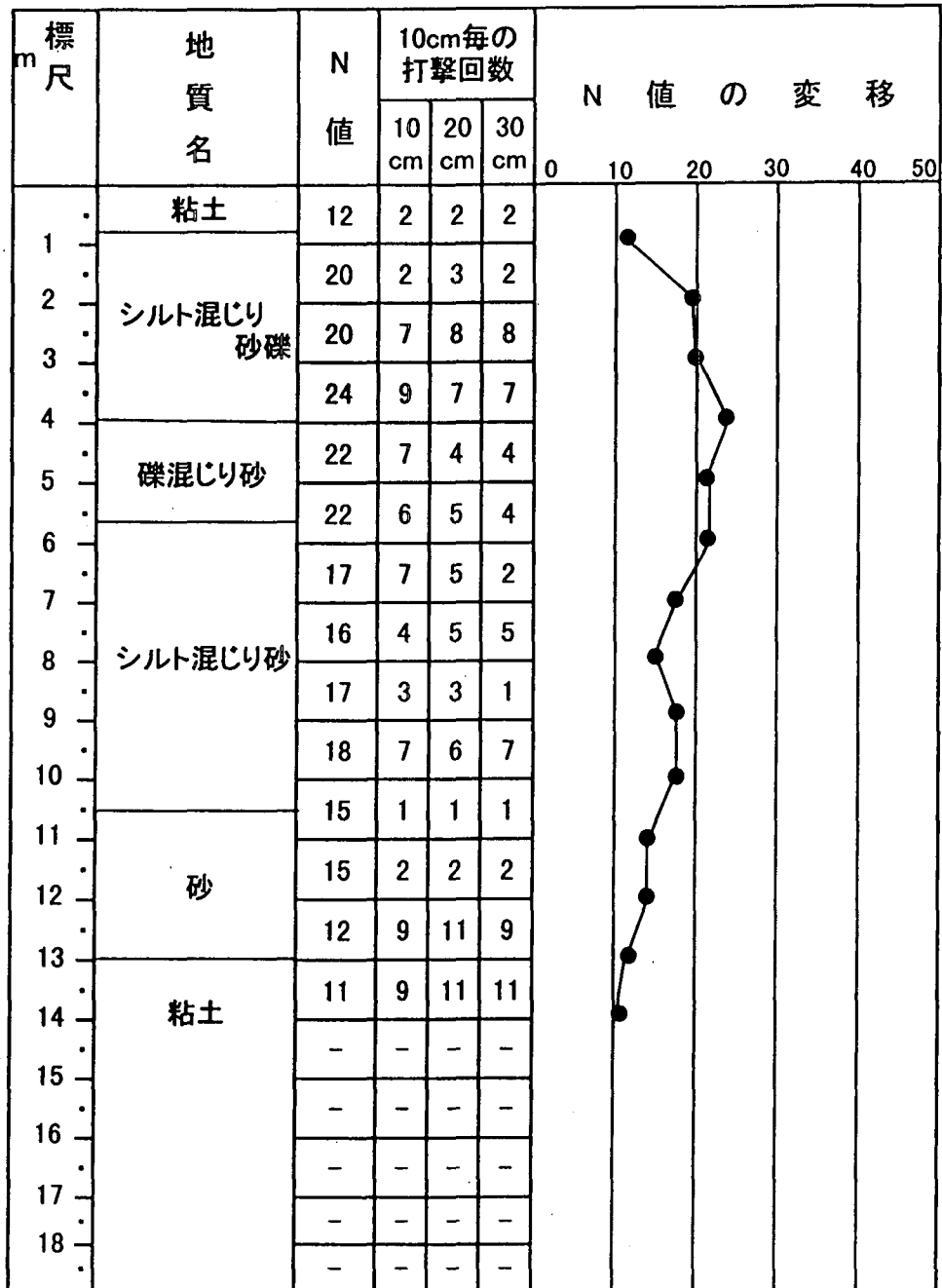
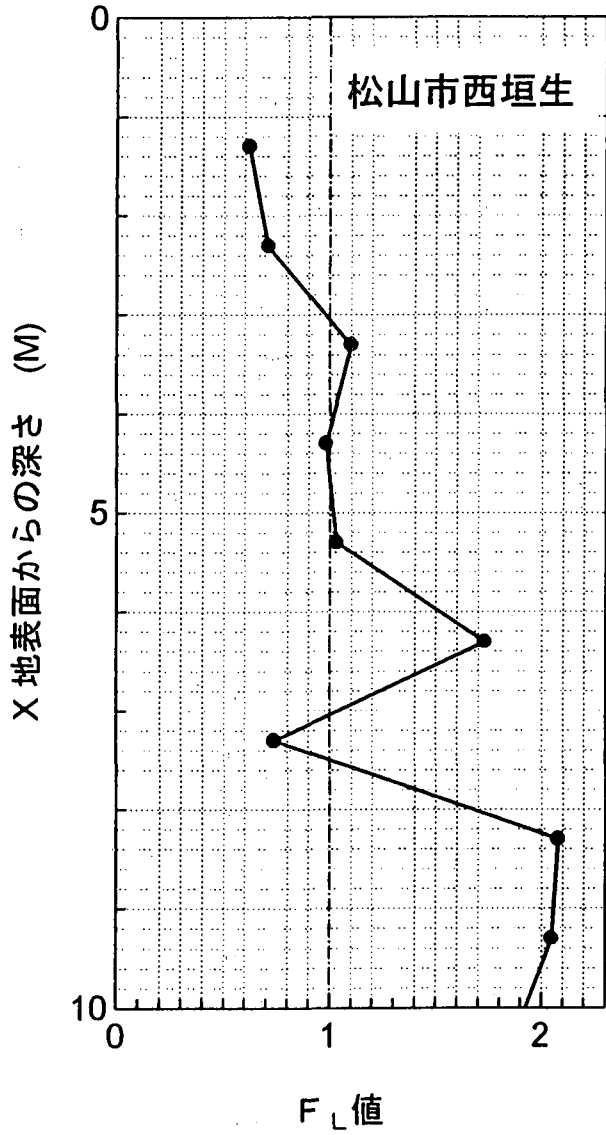


図-4 C地点のボーリング柱状図



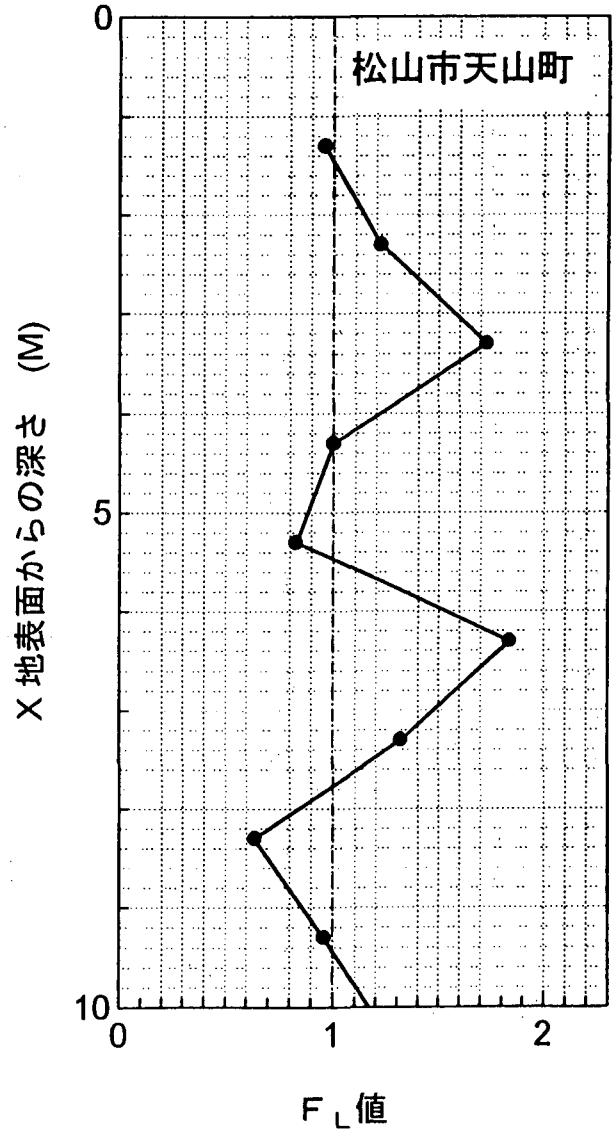
図一5 D地点のボーリング柱状図

最大加速度150gal $\Sigma P_L=6.53$



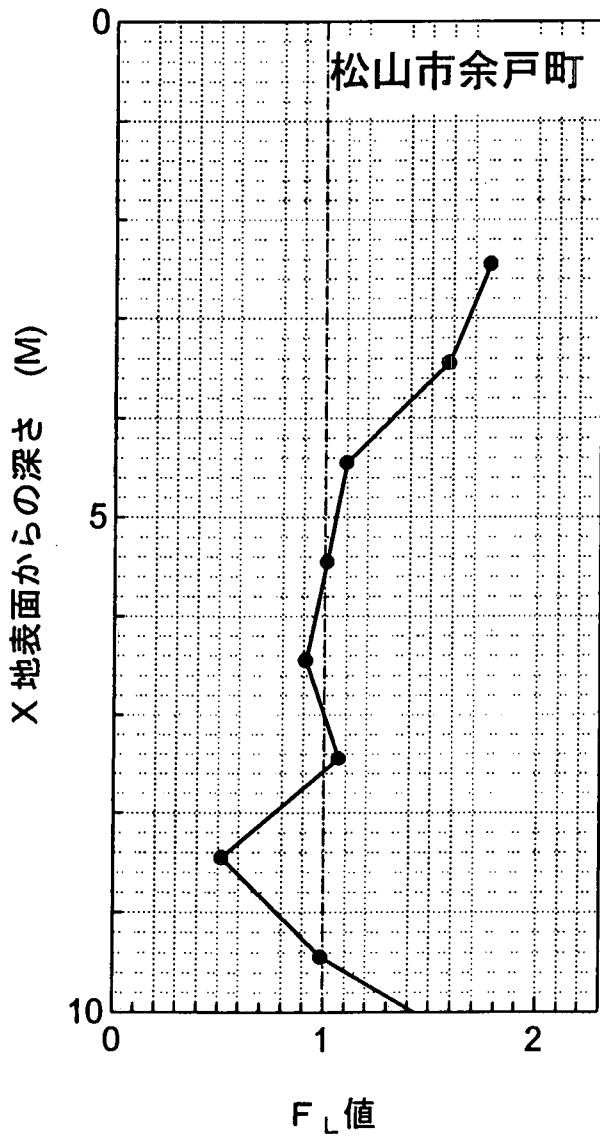
図一六 A地点の F_L 分布

最大加速度150gal $\Sigma P_L=4.37$



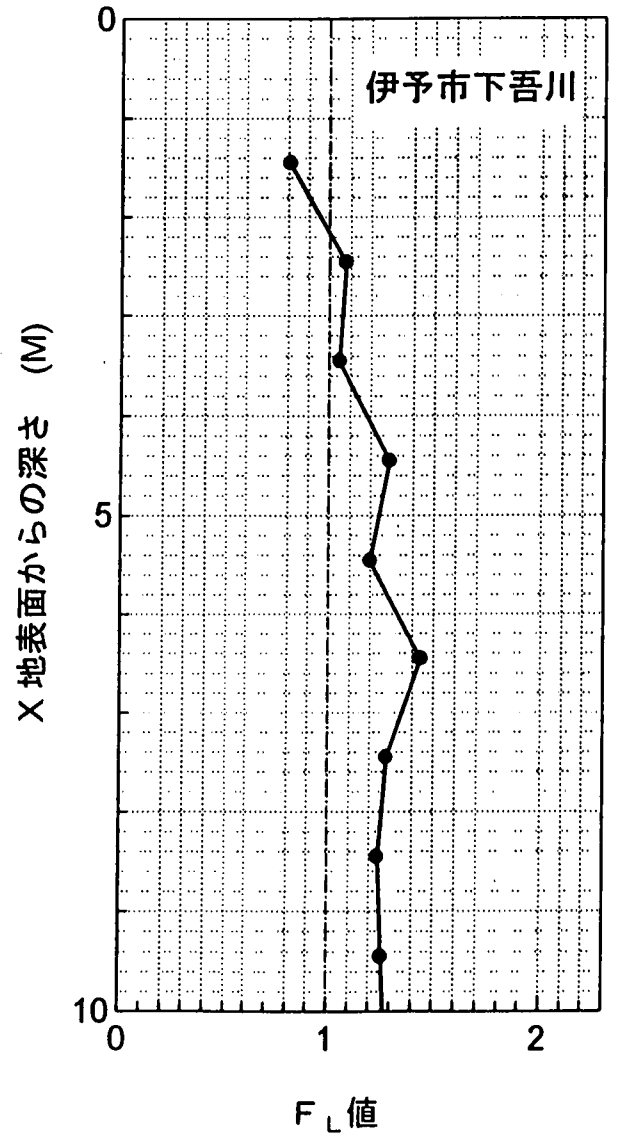
図一七 B地点の F_L 分布

最大加速度150gal $\Sigma P_L=3.60$



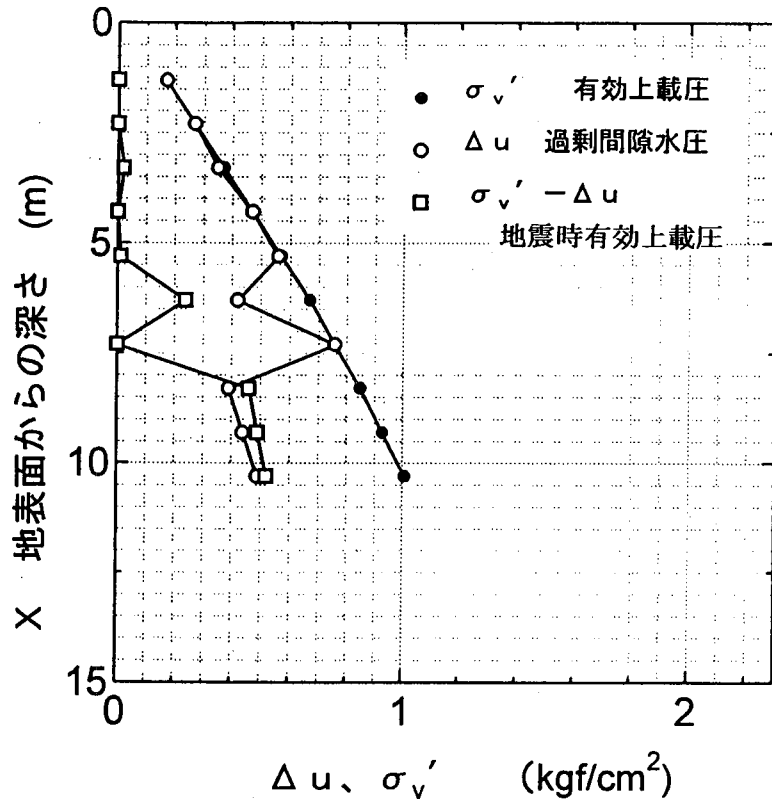
図一八 C地点の F_L 分布

最大加速度150gal $\Sigma P_L=3.55$



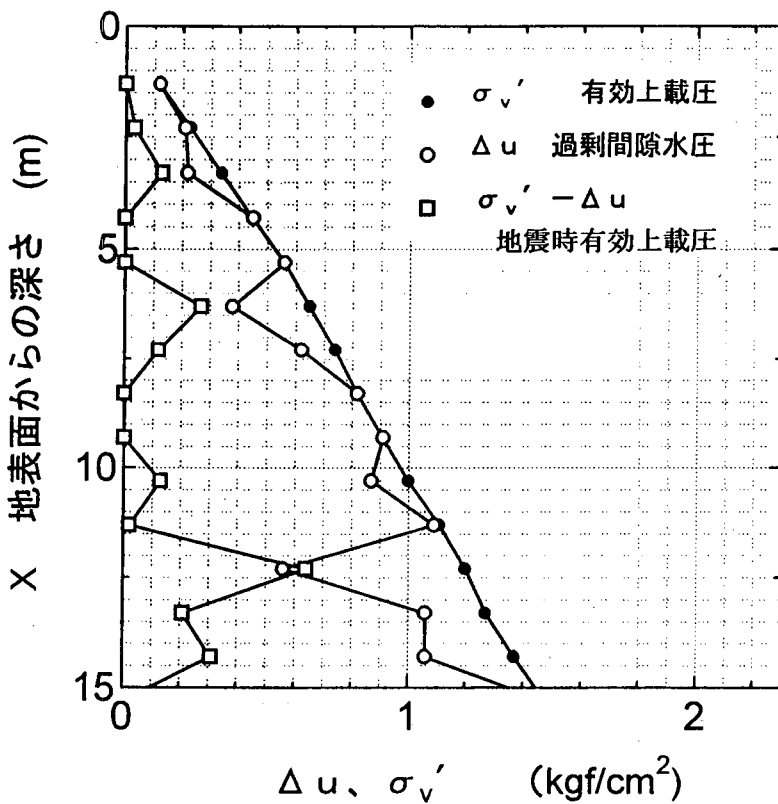
図一九 D地点の F_L 分布

松山市西垣生：最大加速度150gal



図一10 A地点過剰間隙水圧と有効上載圧の分布

松山市天山町：最大加速度150gal



図一11 B地点過剰間隙水圧と有効上載圧の分布

松山市余戸町：最大加速度150gal

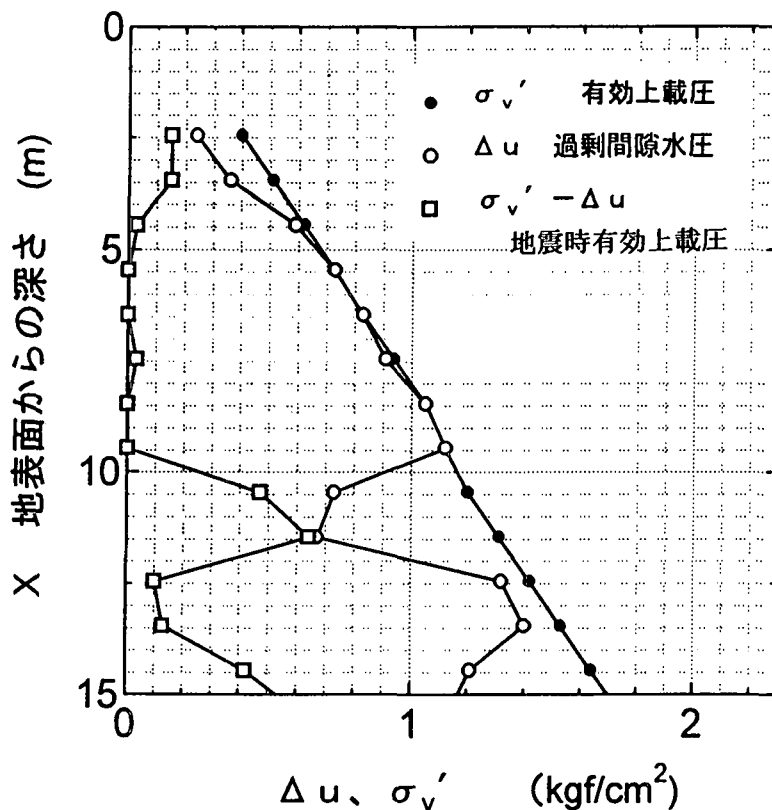


図-1 2 C地点過剰間隙水圧と有効上載圧の分布

伊予市下吾川：最大加速度150gal

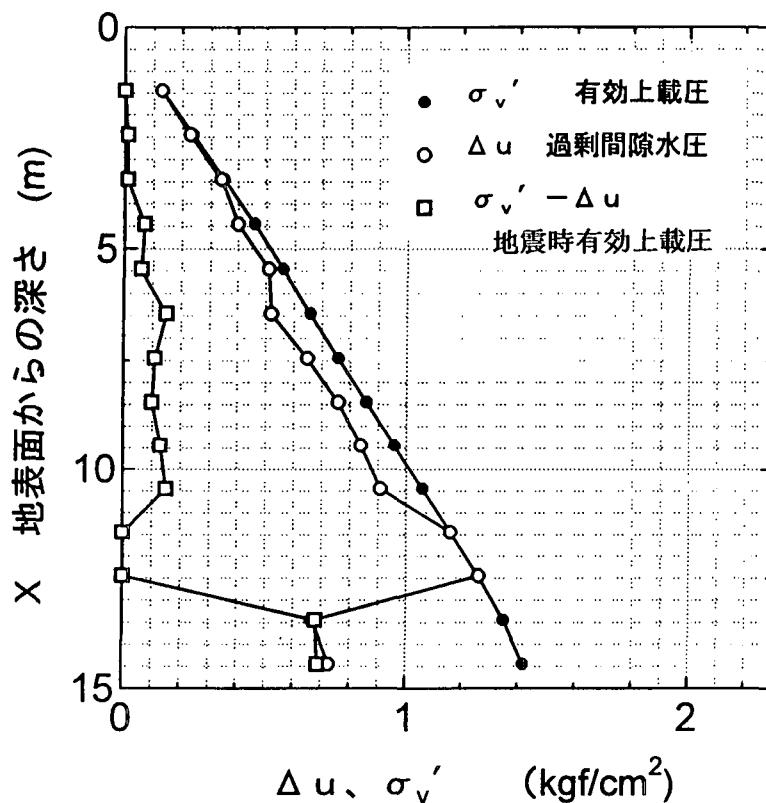


図-1 3 D地点過剰間隙水圧と有効上載圧の分布