

宮崎大学工学部 正員 藤本 廣
K.K.国土開発コンサルタント 正員の春月正直
宮崎大学工学部 専攻員 杉山 嘉信

1. まえがき

一般に河川堤防についての土質工學上の問題を大別すると、(1)施工時における堤体用土の土質調査、

(2)堤防体の高水位時における浸透水流の性状、および(3)堤体盛土の力学的安定性などが考えられる。これらの問題のうち、(1)については、實際上、せいぜい堤体用土の物理試験と締固め試験が行なわれている程度である。(2)については、非定常浸透とか、パイピング現象などの興味ある問題があるが、現実の工事においては深く考えられていない。(3)については、堤体基礎地盤が全層軟弱でない限り、盛土自体についての力学的安定性をチェックすることはほとんどない。

ところで、筆者らは昨年、建設省宮崎工事事務所から、宮崎県東諸県郡国富町深年川ショートカット工事に伴う施工直後の堤防の降雨による法面崩壊と堤体本体の安定性に関する土質調査を委託されたが、その調査の過程で、土質工學的に二三の興味ある資料が求められたので今回、宮崎工事事務所の了解を得て、その概要を実用的な立場から報告することにした。

2. 堤防と被害状況の概要

昭和43年3月、宮崎県東諸県郡国富町三名の深年川ショートカット(図-1参照)に伴って施工された堤防が、昭和43年5月11日～5月12日の2日間、124.5mmの連続降雨によって、延長100mにわたってノリ面崩壊

起ると共に、右岸堤内：湧水面所が発見された。筆者らは建設省宮崎工事事務所の依頼を受け、ノリ

面崩壊の原因

湧水の浸透

層と水源及び

堤防本体のす

べりに対する

危険性の有無

のう点を知る

目的で土質調

査を行なった。

この堤防の概

略について述

べると、標準

断面は図-2に

示す通りで、

左岸が延長約

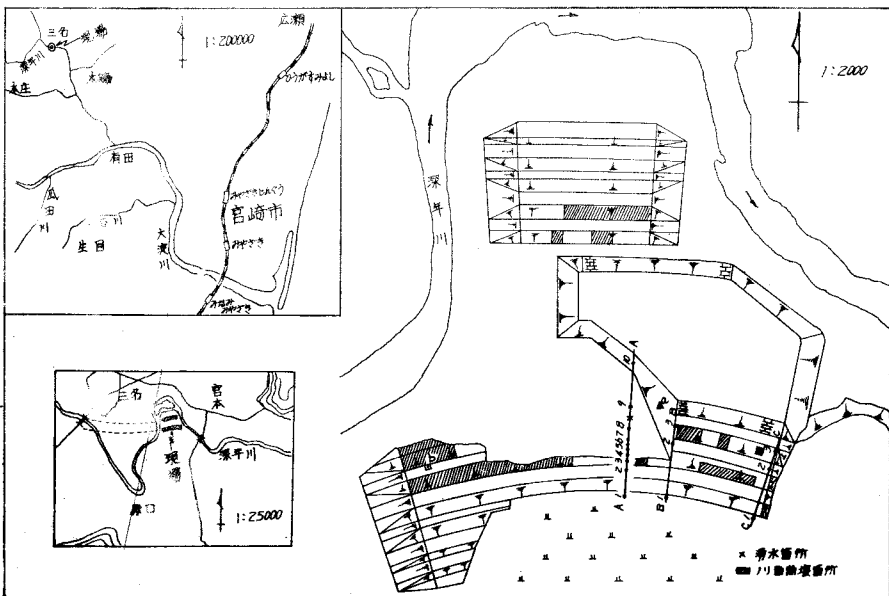


図-1 堤防平面図

Ⅱ、右岸が長さ100mにわたって施工されている。右岸は現地盤と盛土の組合せで堤体が構成されており、盛土は現地盤の高さに応じて上流側で厚さ3m、下流側で厚さ2m程度に施工されている。左岸はすべて現地盤盛土による盛土で堤体が築造されている。土羽はこれらの堤体に厚さ25~60cmで施工されたものであるが、ノリ面前縁は右岸岸芽に起り、湧水は右岸現地盤の緊接にのみ起っている。なお右岸堤内地には水田が隣接している。現地盤の地層は現場における呼び名で、上層より、赤粘土(シルト質粘土)、青粘土(シルト質粘土)、砂質粘土(砂質ローム)の順に層をなしており、盛土本体は赤粘土、青粘土の混合土である。又土羽土は極まじりましと思われた附近の畑の土(砂質ローム)を使用している。

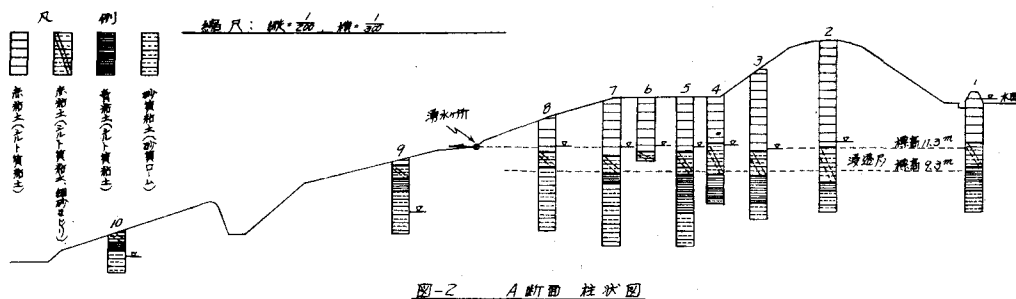


図-2 A断面柱状図

3.調査方法

ノリ面の崩壊に対する調査は、現地観察の結果、土羽土部分と盛土本体との間の層すべり的なものと考へられたので、土羽土について、物理試験、現場密度、締固め試験、透水試験、三軸圧縮試験を行う。2層土よりなる特殊な一面セン断試験を行なった。物理試験および締固め試験は図-1のb地盤より採取した試料について、JIS規格による試験を行ない、現場密度は図-1のb地盤で、モールド円筒法による測定を行なった。透水試験は図-1のb地盤より採取した試料の含水比 w と乾燥密度 ρ_d を自然状態($w=21.92\%$, $\rho_d=1.299 \text{ g/cm}^3$)、Dry Side($w=10.63\%$, $\rho_d=1.618 \text{ g/cm}^3$)、O.M.C.($w=15.78\%$, $\rho_d=1.688 \text{ g/cm}^3$)、Wet Side($w=30.60\%$, $\rho_d=1.678 \text{ g/cm}^3$)の4段階に変化させて供試体を締固め、浸透水位透水試験を行なうと共に、乾燥試料について数種の間ガキ比のもとで、水頭116.4cmと34.0cmで水平毛細管透水試験を行なった。一面セン断試験は図-1のb地盤より採取した土羽土の乾燥密度を一定($\rho_d=1.298 \text{ g/cm}^3$)とし、含水比 w をDry Side($w=11.2\%$)、O.M.C.($w=16.8\%$)、Wet Side($w=30.9\%$)の3段階に変化させ、図-3のよう

に堤体土(自然状態)との境界でセン断するように供試体を作成して圧密非排水試験(図-7一面セン断試験供試体)を行なった。三軸圧縮試験は、図-1のb地盤より採取した試料を自然状態($w=20.76\%$, $\rho_d=1.62 \text{ g/cm}^3$)に締固めて $\phi 300 \text{ mm} \times 280 \text{ mm}$ の供試体を作成し、非排水条件の下で、セン断速度 0.5 mm/min で、セン断強度と共に間ガキ水圧を測定した。湧水の湧透月と水源に対する調査は、図-1a2に示すA断面(湧水管節を通る)について締密なオーガーホーリングを実施し、地層の把握と地下水位の観測を行なった。又地下水位の流れの方向を知る為、図-1a2の7a2孔より食塩水を投入し、湧水管節にかき出る水の電気抵抗をデスターンによって測定する方法で流達試験を行ない、さらに地盤の概略的な透水係数を知る為、図-1a2の1,2,3,3,7,7孔にそれぞれ地表面まで注水し、その水位低下を測定する方法で現場透水試験を行なった。又、図-1のB断面&C断面間の堤外において、現地盤を含む堤体本体の滑りに対する安定性を検討する為、B断面&C断面においてオーガーホーリングおよびスウェーデン式貫入試験を実施すると共に、赤粘土、

4. 調查結果及考察

厚さ 60cm の土羽土がどの位の降雨量で飽和されるかを先

つ検討することにした。単位体積当りの土を飽和させるに必要な水の体積 V_{wa} は、土中の間ケキ空気体積 V_a と等しいと仮定すれば次式で求められる。 $V_{wa} = V_a = 1 - (V_w + V_s)$ ここに

$W_s = \frac{W}{G_s}$, $W_w = S_r \cdot e \cdot W_s$ で、 W_s は乾燥密度 (g/cm^3)、 G_s は土粒子比重、
 S_r は飽和度 (%)、 e は間隙比、 W_w は調査時の現場含水比に
 おける土中の水の体積を示す。上式に各測定値を代入する

②、 $T_{\text{雨}} = T_0 = 1 - \frac{1.30}{2.62} (0.575 \times 1.02 + 1) = 0.2 \text{ cm}^3$ 、これより降雨量: $P = 0.2 \text{ cm}^3$
 $60 \div 1 \text{ cm}^2 = 120 \text{ mm}$ 、すなわち 120 mm の降雨量で 60 cm の土羽土は飽

和されると考えられる。実際は1245^{mm}の連続降雨があったため

けであるから土羽土は完全に飽和され、余分の雨水は土羽土表面、土羽土内及び土羽土と硬粘土の境界を遡って流下し、と思われ、況に土羽土と硬粘土の境界に於ける圧入を

べりの検討を、浸透流のある場合と、浸透流のない場合の
2通りについて行おう。すべりに対する安全率 n は式で

与えられる。○浸透流の場合: $F_3 = \frac{C + r h \cos \beta \tan \phi}{r h \sin \alpha \cos \alpha}$

○透過流のある場合: $F_3 = \frac{C + \delta'' h \cos^2 \beta \tan \phi}{h \sin \beta \cos \beta}$

但し C : 粘着力 (g/cm^2) ϕ : 内部摩擦角 ($^\circ$)

よ、土質土の単位体積重量(γ/cm^3)

尾:土羽土の浸透水面以下の飽和率

又、" " 以下の本中 " " (")
 五輪書は一般に古き、出才

傾斜のある事および土が砂質土なので、みかけの粘着
力は飽和時にはゼロと考えるのが妥当と思われたので

計算に用いる γ は、二次 通気 用いる 過透流のばい場合:

$C = \frac{1}{3}C_0$, $\phi = \frac{2}{3}\phi_0$ 、液流のある場、 $\phi = \frac{2}{3}\phi_0$ 、但し、 C_0, ϕ_0 は試験値である。以上により密求めると表-2の如く。

なる。表-2の結果は浸透流の $\frac{1}{2}$ までは安定を保つが、
 浸透流のある場合は不安定になる率を示している。これは

1245mの連続断面に、土羽土は力学的な安定性を失うと共に、環体土が不透水層である為土羽

試料名	土羽土	赤粘土	青粘土	砂質粘土
色 粉	灰褐色	赤褐色	灰青色	灰青色
深 度 (標高) (m)	19.7	10.1	8.7	8.2
自然含水比 (%)	22.4	25.9	26.8	16.5
自然 (湿潤) 密度 (g/cm ³)	1.59	1.92	1.74	1.75
乾燥密度 (g/cm ³)	1.30	1.54	1.50	1.37
自然含水比 (%)	1.02	0.74	0.80	0.71
自然乾燥度 (%)	57.5	93.1	77.3	59.7
土粒子の比重	2.62	2.68	2.61	2.57
上粒子 (2.0mm以上) (%)	0	0	0	0
砂 (2.0~0.75mm) (%)	65	9	4	61
細砂 (0.75~0.075mm) (%)	23	5.8	62	27
粘土 (0.075mm以下) (%)	12	33	34	12
三角座標による土質分類	砂質ローム	粘質粘土	シルト質粘土	砂質ローム
e_{60} (%)	0.15	0.195	0.17	0.121
e_{10} (%)	0.203	—	—	—
均 等 係 数	50	—	—	121
液性限界 (%)	20.1	34.4	34.0	18.9
塑性限界 (%)	N.P	23.2	22.0	N.P
塑性指数 (%)	—	11.2	12.0	—
流動指数	8.7	7.1	6.0	7.0
コンスタンス指数	—	0.8	0.6	—
液性指数	—	0.2	0.4	—
最適含水比 (%)	18.6	20.8	19.9	14.5
最大乾燥密度 (g/cm ³)	1.67	1.55	1.60	1.68
粘着力 (kg/cm ²)	Cu _v 0.22	0.64	0.52	0.37
	Cu _u 0.13	0.54	0.32	0.30
内部摩擦角 (°)	ϕ_v 39	23	16	28
	ϕ_u 40	28	26	31

室內海水試驗				
試料名	土 羽		土	
試料名	自然狀態	Dry. State	O. M. C	Wet. Side
含 水 比 (%)	21.9	10.6	15.9	18.6
乾燥密度 (g/cm ³)	1.29	1.62	1.69	1.80
濕潤密度 (g/cm ³)	1.57	1.79	1.95	1.99
固 化 比 (%)	1.03	0.62	0.55	0.56
視 水 係數 (%)	55.6	44.9	74.8	86.6
透水係數 (cm/sec)	2.21×10^{-4}	5.03×10^{-5}	5.93×10^{-5}	9.20×10^{-5}

一 箇 セ ン 断 紙 験			
試 料 名	主羽土と選汰土の組合せ		
主羽土供試条件	Dry, Size	0.1 M.C.	166.5 lbs
含 水 比 (%)	11.2	16.8	23.9
乾 漚 密 度 (Mg^3)	1.30	1.30	1.30
粘 着 力 (Mg^2)	0.039	0.042	0.043
内部摩擦角 ($^{\circ}$)	36.3	31.2	31.4

水平水迴響溫水試驗					
餌料名	土 間 土				
水青毛頭(個)	17.5	32.7	68.3	54.3	58.1
乾溼度 (%)	1.30	1.36	1.60	1.60	1.39
餌料中比	1.02	0.93	0.87	0.82	0.82
乾和原價 (圓)	4.38	4.71	4.99	4.88	4.88
乾和原價 (%)	6.78	87.9	87.3	90.3	92.8
溫水係數 (個)	2.27 × 10 ⁻³	2.27 × 10 ⁻³	0.45 × 10 ⁻³	0.45 × 10 ⁻³	1.22 × 10 ⁻³

表-1 土壤試驗結果

土内の雨水の幾分かは堤体土との境界を流れて、そこに層すべり的な崩壊を起したものと考えられる。

土羽土の条件	Dry Side		O.M.C		Wet Side	
土羽土の厚さ (cm)	35	60	35	60	35	60
安全率: F_s (浸透流のない場合)	2.8	2.0	2.1	1.5	1.9	1.4
安全率: F_s (" のおき "		0.32		0.32		0.32

表-2. 平面すべり計算結果

A断面におけるオーガーボーリングの結果は図-2に示す通りであるが、地下水位に注目すると、湧水箇所より堤内側ではすべて標高11.3m附近に一致しており、湧水箇所より堤外側では標高8.3mに下がっている。又流速試験の結果は図-4のように反応が表われているので、水の流れはこれらの地下水位面で、堤内側より湧水箇所へ向って流れている事がわかる。浸透層については、図-2の柱状図で11.3~9.3m間のシルト質粘土が細砂まじりであることおよびオーガーボーリング作業時において、これらの層で水の湧き出る音が感じられたこと等より、湧水の浸透層は11.3~9.3m間のシルト質粘土(細砂まじり)であることが判明した。また昭和43年11月の稲刈り時(水田の水が全くなくなる)に湧水箇所を観察したところ、水の噴出が全くとまっていることが認められたので、この湧水の水源は水田の水であることが判明した。堤体本体のすべりに対する安定性については、図-1のB断面とC断面のオーガーボーリングの結果、前者にそれほど相違はなかったため、代表的なB断面について円弧すべり法による方法で検討した。その結果、最小の安全率は、間がキ水压を考慮しない場合は $F_s=4.8$ 、考慮した場合は $F_s=4.6$ となり、円弧すべりのおそれはほとんどないと考えられる。

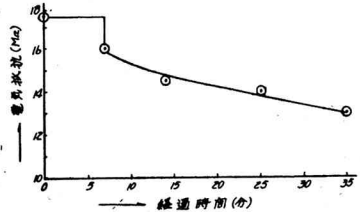
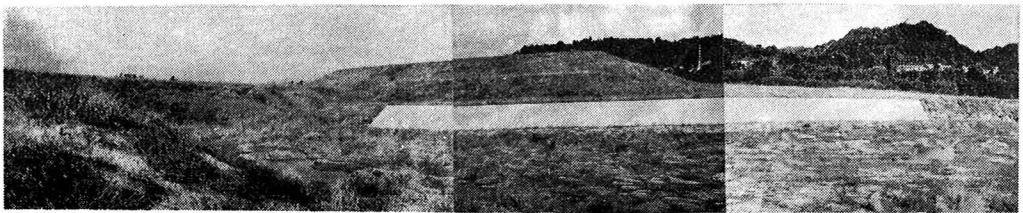
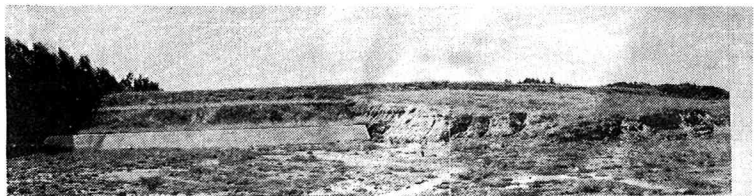


図-4 流速試験結果

右岸築堤全景 →

↓
左岸築堤全景



5. おそひ

- 1) 實際上不透水な粘性土より成る堤体に砂質ロームに属する土を土羽土として60cm程度の厚さに施工した場合、120mm程度の連続降雨で、土羽土崩壊を起す可能性がある。
- 2) 湧水は水田の水を水源とし、標高11.3~9.3m間のシルト質粘土(細砂まじり)を浸透層としている。
- 3) 堤体本体の円弧すべりに対するおそれはほとんどない。

なお本調査に当っては、建設省岩崎工事事務所工務第一課、調査課および本庄出張所にお世話になった。ここに深く謝意を表する。