

東郷ダム堤体の10年間の挙動

う	か	ふ	お
字	梶	文	雄*
おお	ね	よし	お
大	根	義	雄**

1. ま え が き

愛知用水の調整池として昭和34年11月から36年12月までの約2年間で築堤された東郷アースダムは、築堤中の高い間ゲキ水圧の発生にともない、斜面の塑性変形や滑動など、さまざまな土質工学上の問題に遭遇した。そして、その経過や対策などについてはすでに数多くの報告がなされている。^{1), 2), 3), 4)} 完成後は特に問題もなく、その機能を十分に果たし、約10年を経過して現在に至っている。建設当時に示した土の挙動に関する諸性質は、ダムの維持管理上必要であるばかりでなく、工学上の貴重なデータともなりうる。この観点から、本ダムでは完成後から現在に至るまで、堤体土のサンプリング調査や埋設計器等により堤体の挙動について引続き観測を行なっている。

折りしも第5回土質工学研究発表会が名古屋市において開催され、その見学地の一つに東郷ダムが選ばれたので、これを機に本ダムの10年間の挙動と題して、ここに報告するものである。

2. 堤体材料の土性

図-1に示す粒度と塑性からなるコア部とランダム部材料について、設計時と完成後の土性の变化をみるため、完成後約4年経過した時点(40年11月)で堤体からボーリングによって乱されない標準試料をサンプリングして比較対照した⁵⁾。その結果からつぎのことがわかった。

(1) 統一分類、最大乾燥密度、最適含水比などを対照してみても、完成後と当初設計の試料はほぼ同一材料であることが確認された。

(2) 現場乾燥密度は、コア部では設計当初の 1.21 g/cm^3 から完成後の $1.24 \sim 1.60 \text{ g/cm}^3$ へ、ランダム部では 1.53 g/cm^3 から $1.35 \sim 1.73 \text{ g/cm}^3$ へ、それぞれ増加の傾向がみられた。

(3) 現場含水比は、コア部では $28 \sim 56\%$ から $22 \sim 41\%$ へ、ランダム部では $17 \sim 45\%$ から $14 \sim 33\%$ へ、それぞれ減少の傾向がみられた。

これによって、築堤時から圧密がかなり進行していることがわかる。

(4) 圧密の進行と同時に、せん断強さは図-2に示すように増加している。コア部では設計、施工中の強度より上まわっているものの、完成後(常時)に $c' = 0.4 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 17^\circ$ になると予想されていたものが、調査時点ではまだ圧密進行中で $c_u = 0.5 \text{ kg/cm}^2$, $\phi_u = 6.5^\circ$ に変化しているにすぎなかった。しかし、ランダム部では $c' = 0.4 \text{ kg/cm}^2$, $\phi' = 25^\circ$ の予想を上回り、 $c_u = 0.4 \text{ kg/cm}^2$, $\phi_u = 30^\circ$ に達していた。

3. 堤体の沈下

ダム頂よりやや下流側に埋設した10段のクロスアームによる層別沈下の経年変化を図-3に、施工中と完成後の沈下量、沈下率を表-1に、また沈下のもっともいちじるしい3~4段の沈下率をJ.P. Gouldの報告による類似材料を使

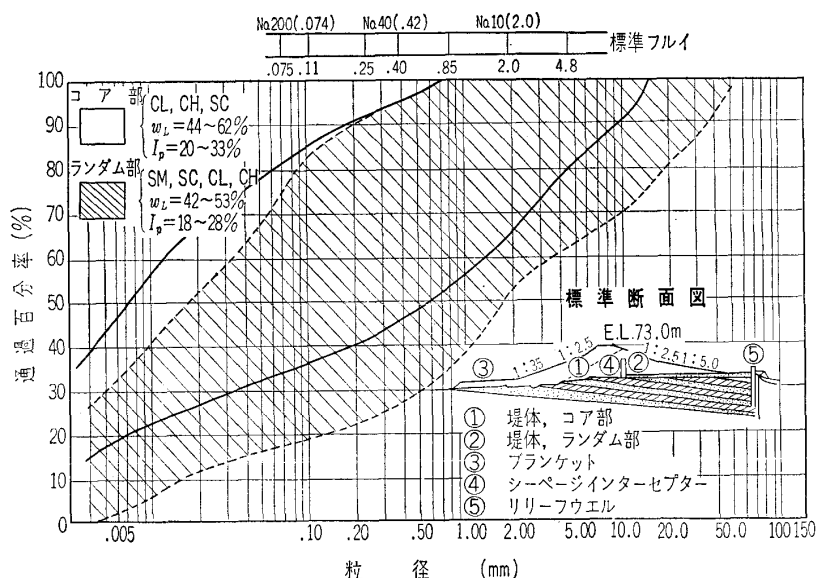


図-1 堤体断面と材料

* 水資源開発公団中部支社

** 愛知工業大学工学部・教授

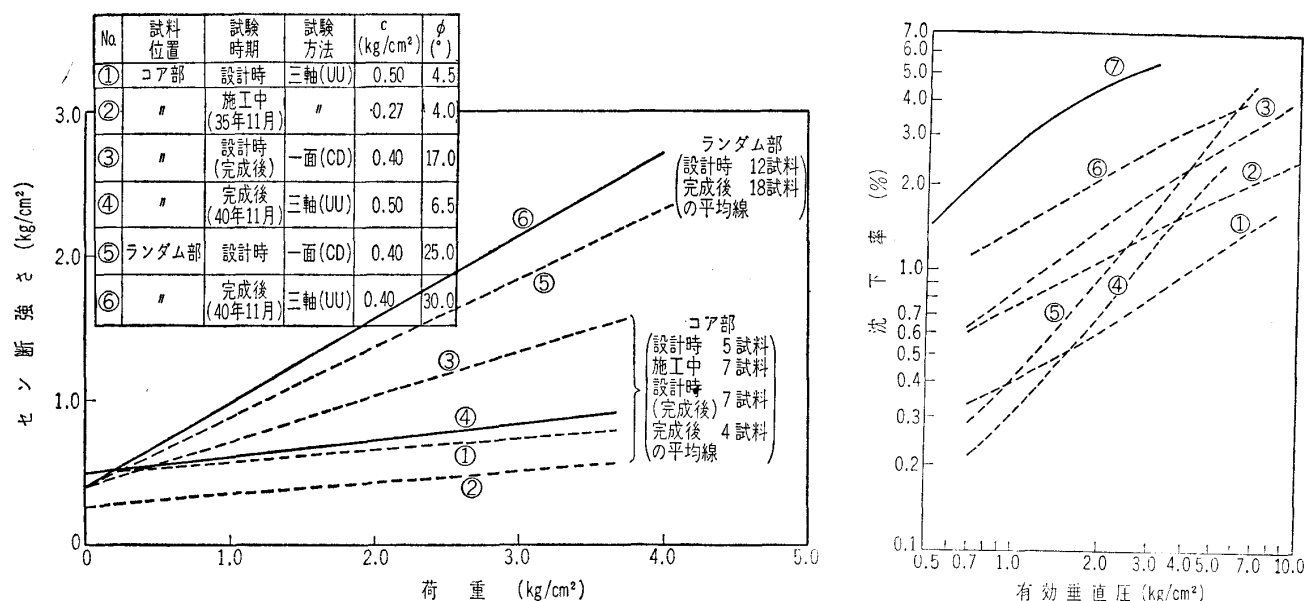


図-2 堤体材料のせん断強さ

用した米国開拓局ダムのそれと比較して 図-4 に示した。ここで、図-4 の有効垂直圧は、クロスアーム直上の土カブリ圧から、これと同じ高さで接近して埋設して

表-1 施工中と完成後の層別沈下

No.	クロスアーム	当間初隔 (m)	現在までの総沈下 (45年7月まで)		施工中 (完成直後) の沈下 (36年12月まで)		完成後の沈下 (36年12月～45年7月)	
			沈下量 (cm)	沈下率 (%)	沈下量 (cm)	沈下率 (%)	沈下量 (cm)	沈下率 (%)
①	1~2段	2.968	14.0	4.7	13.1	4.4	0.9	0.3
②	2~3	3.062	14.6	4.8	12.7	4.2	1.9	0.6
③	3~4	2.937	16.4	5.6	13.4	4.6	3.0	1.0
④	4~5	3.088	11.8	3.8	10.0	3.2	1.8	0.6
⑤	5~6	3.157	7.5	2.4	6.8	2.2	0.7	0.2
⑥	6~7	3.112	7.2	2.3	6.8	2.2	0.4	0.1
⑦	7~8	3.127	6.4	2.0	6.1	1.9	0.3	0.1
⑧	8~9	3.187	3.8	1.2	3.7	1.2	0.1	0.03
⑨	9~10	1.770	1.7	1.0	0	0	1.7	1.0
全 区 間			26.408	83.4	72.6	2.8	10.8	0.4

No.	ダ ム 名	材 料	含水比 状 態
①	Boysen	SC-SM	乾燥側
②	Green Mountain	SC	"
③	Anderson Ranch	SC	"
④	Jackson gulch	CL	"
⑤	Cedar bluff	CL	"
⑥	Vallecito	CL-SC	湿潤側
⑦	東郷 (3~4 段)	CL, CH, SC	"

図-4 米国開拓局ダムとの沈下率の比較

ある間ゲキ水圧計 (P13) の水圧 (図-5参照) を差引いて求めた。これらによって、沈下の動向はつぎのように要約できる。

(1) 堤体全区間の現在 (以下、45 年7月を現在とする) までの沈下量は83.4cm で、盛土高 26.4 m に対して3.2%である。このうち、施工中 (堤体完成までの) の沈下量は 72.6 cm で、全沈下量の 87% に達している。

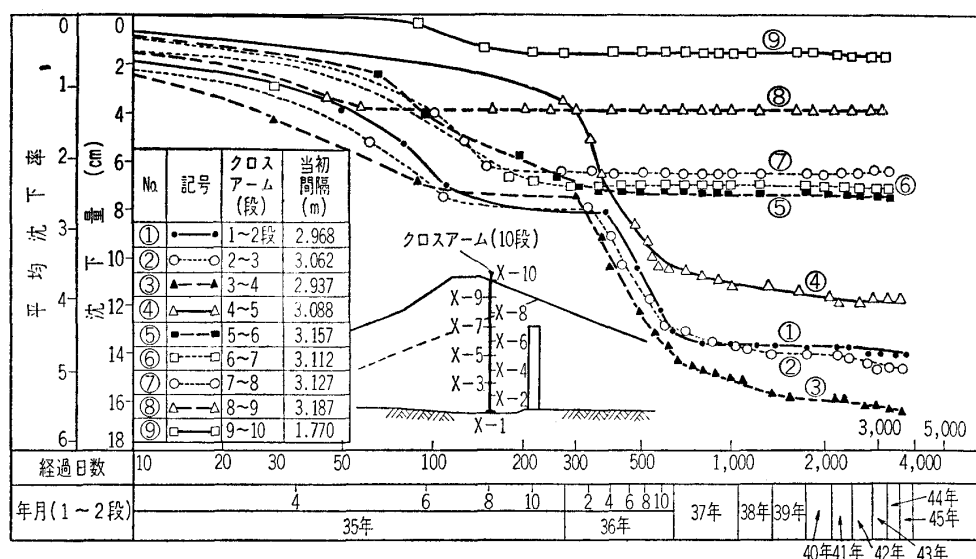
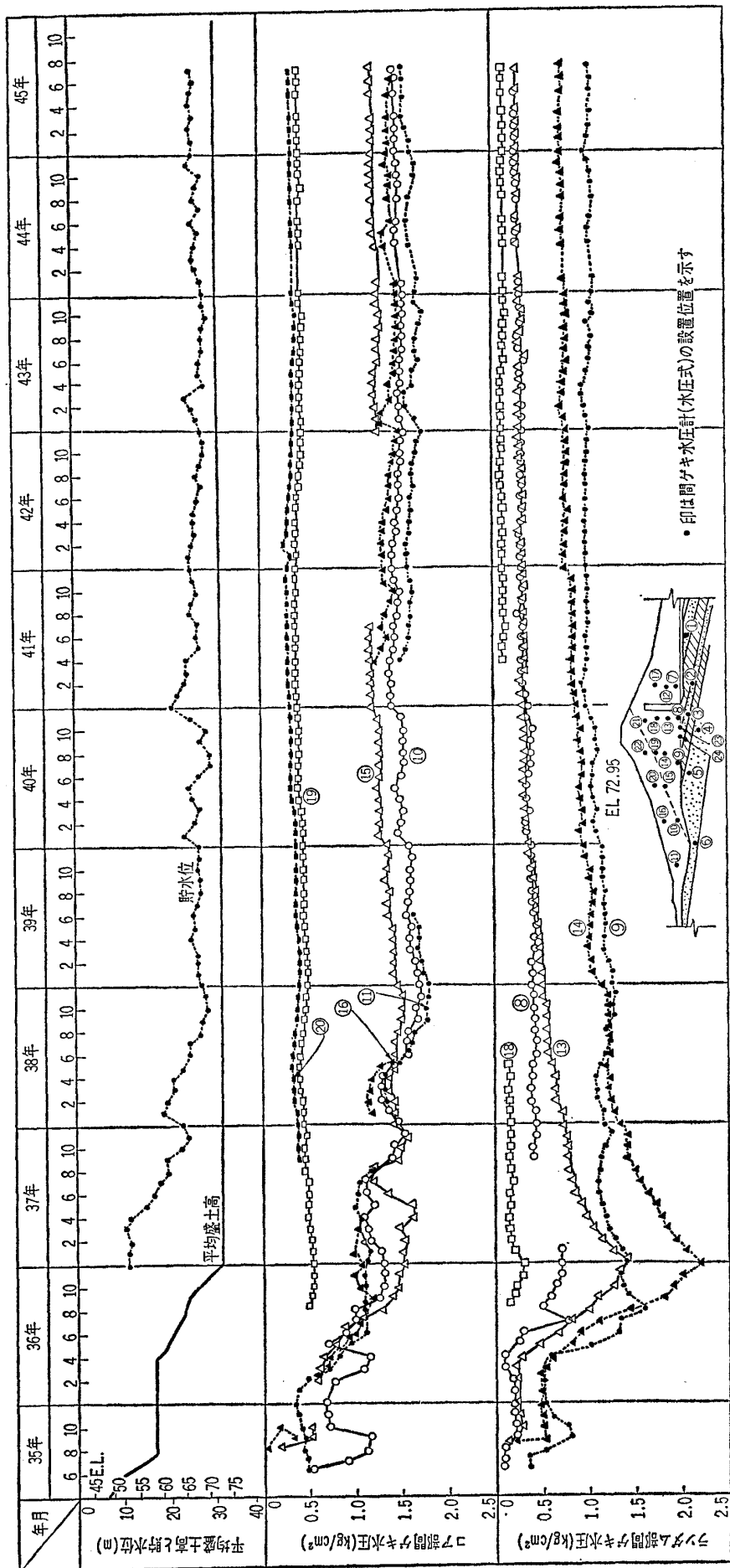


図-3 堤体の層別沈下 (昭和 35 年4月~45 年7月)

見学会報告



図—5 堤体の間ゲキ水圧 (昭和 35 年 6 月 ~ 45 年 7 月)

(2) 堤体の層別沈下率は各区分によって異なり、施工中は 1~5% 程度 (平均 2.8%), 完成後は 0~1% 程度 (平均 0.4%) である。

(3) 層別沈下量の大きい区間はクロスアームの 1~5 段までで、堤高のほぼ半分以下の部分であり、この部分の沈下量は全区間沈下量の 68% を占めている。

(4) 沈下のほとんどは盛土完了後 1~2 年の中に終了しているが、沈下量の大きいクロスアーム 1~5 段の部分ではわずかながら現在でも沈下が進行している。

(5) 層別沈下量のとくに大きいクロスアーム 3~4 段部分の沈下率は、米国開拓局ダム of のいずれよりも大きい。これは米国開拓局ダムが一つの例外を除いて、いずれも最適含水比より乾燥側の材料であるのに対して、東郷ダムの材料が最適含水比より数%以上湿潤側の高含水比、高塑性粘性土を主材料として使用したためと考えられる。そして、有効垂直圧と沈下率との関係は、Vellecito ダムと同一傾向の下に凹の曲線で示されている。

4. 堤体の間ゲキ水圧

堤体内の各部分に埋設された水圧式間ゲキ水圧計 (米国開拓局型) による間ゲキ水圧の経年変化を図—5 に示す。これによって、施工中と貯水後の間ゲキ水圧の挙動はつぎのように要約できる。

(1) 施工中の間ゲキ水圧は、盛土完了時に最大となり、その後次第に減少している。完成直後の間ゲキ水圧分布とそれを考慮したスベリ面の安全率を図—6 に示す。施工中の直上盛土重量に対する間ゲキ水圧の大きさは斜面先に近づく程大きく、P10 の両者の比で表した間ゲキ水圧比 $\bar{B}$ は最大 1.92 にも達した。すなわち、斜面先付近においては垂直土圧の 2 倍に近い間ゲキ水圧が発生した。これは斜面先付近において、

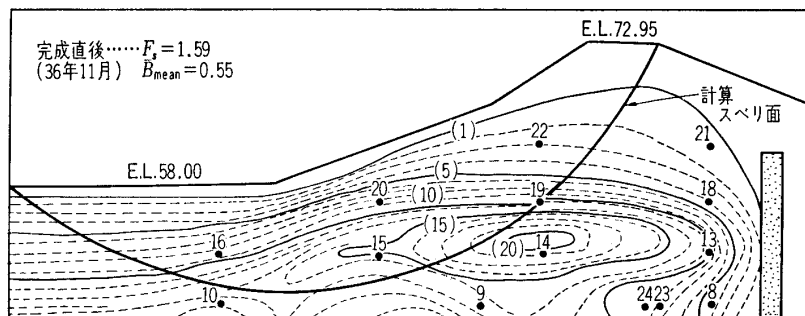


図-6 完成直後の間ゲキ水圧と安全率

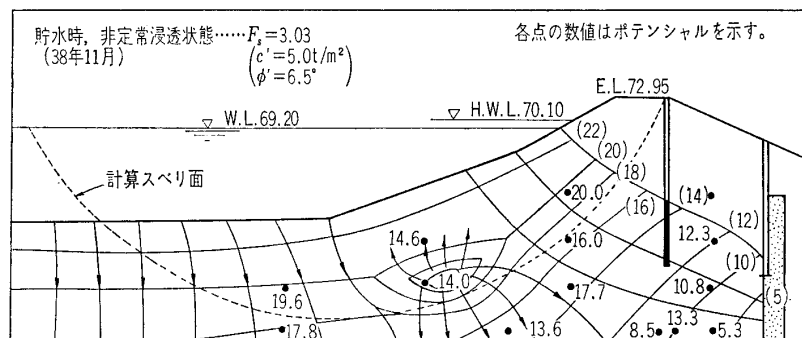


図-7 貯水初期(非定常浸透状態)の流線網と安全率

弾性体でみられるような応力集中によるもので、施工中に崩壊を招いた最大の原因であると考えられている。⁶⁾⁷⁾

(2) 盛土完成後の間ゲキ水圧は次第に消散してゆくが、貯水開始と同時に、浸透水によって上流側下部の間ゲキ水圧は再び増大し、貯水開始後約3ヵ年経過した38年11月には図-7に示すような非定常浸透状態がみられる。そして斜面先の一部にはポテンシャル(位置ヘッドと間ゲキ水圧ヘッドの和)が $\phi=24\text{ m}$ を示し、施工中の間ゲキ水圧の残留が認められる。そこで、40年11月に同地点付近から採取した乱さない試料によって圧密試験を行ない、残留間ゲキ水圧の消散に要する時間を推定した。この結果は図-8に示すとおりで、41年はじ

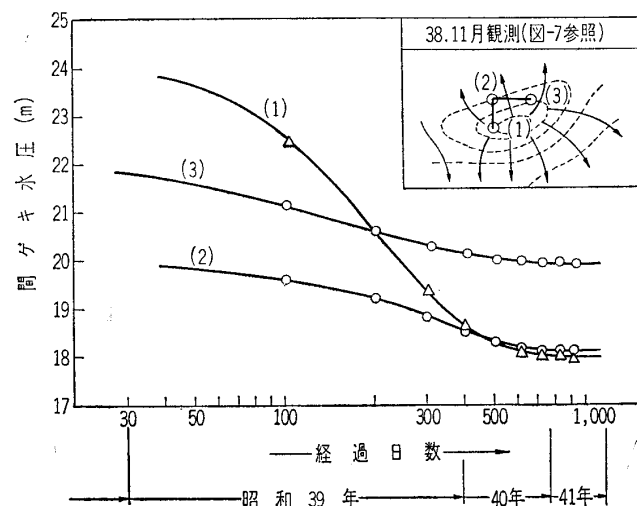


図-8 数値計算による間ゲキ水圧消散量の推定

めに100%消散することが予想された。この計算はテルツァーギの圧密理論を基に数値計算を行なったもので⁷⁾、圧密係数は試験結果から $c_v=3 \times 10^{-3} \text{ cm}^2/\text{sec}$ を用いた。数値計算結果と図-5の観測結果(計器番号P15)を比較してみると、ほとんど一致していることがわかる。すなわち、観測結果は41年2月にほぼ一定値を示すことから圧密はほぼ終了したとみなし得るし、数値計算によっても41年3月頃に残留間ゲキ水圧が0になっているからである。

(3) 図-9は施工中に発生した間ゲキ水圧消散後(41年2月以降)の、いわゆる定常浸透流を示すもので、堤体斜面、すなわち流入面付近では等ポテンシャル線と流線とは正四角形となる。これに反して流出面付近において正四角形となるためには、同図の点線で示したような流線をそう入ししなければならない。こ

のことは水平方向の透水係数(k_h)と鉛直方向の透水係数(k_v)とが異なり、 k_h が k_v より多少大きいことを意味している。

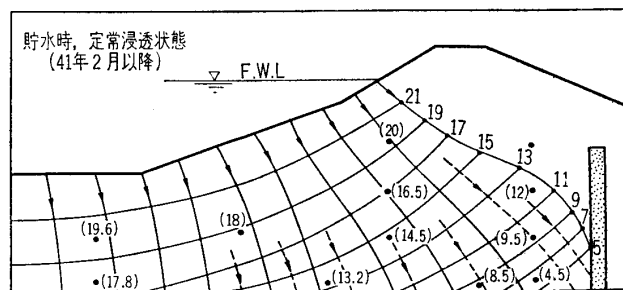
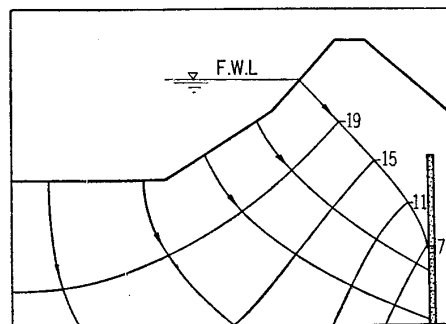


図-9 構築中に発生した間ゲキ水圧消散後の流線網

いま、堤体内のいかなる部分においても流線と等ポテンシャル線とが正四角形を形成するように、堤体の横方向の修正を行なうと図-10が得られる。同図は $k_h/k_v=3.5$ とし、横方向に $\sqrt{k_v/k_h}$ を乗じたもので、このこ

図-10 変形断面の流線網 ($\sqrt{k_v/k_h} = \sqrt{1/3.5}$)

見学会報告

とから本ダムの透水係数比は $k_h/k_v \div 3.5$ であることがわかった。一般に、タンピング系ローラを用いて転圧した場合、 $k_h/k_v \div 5$ とされているが、本ダムの場合は高含水比、高塑性粘性土を使用したために、これよりも多少小さいようである。

(4) シーページインターセプターより下流側の間ゲキ水圧は無視できる程の大きさであり、ドレーンの効果が発揮されているものと認められる。

5. あとがき

以上の結果、ダムの堤体は完成後の時間の経過とともに、構造的安定性を増加してゆくもので、本ダムでは現在すでに安定した状態にあると結論できる。これは堤体内の間ゲキ水圧の消散、圧密の進行によりセン断強さなどが増大し、シャ水性も増加したためで、一般に設計、施工管理を十分に行なったダムでは、堤体の老化現象はほとんど起こらないものと考えられる。

東郷ダムの 10 年間の挙動をとらえ、堤体の安定性を考察してみたが、今後ともデータの収集と解析に努力したいと思う。

最後に、本稿をまとめるにあたってご協力を得た水資源開発公団東郷管理所の職員各位に厚く謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 愛知用水公団 愛知用水技術誌ダム編 (1963 年)
- 2) 薮亀淳夫, 大根義男 東郷アースダム工事, 土木施工安卷 11 号 (1962 年)
- 3) 宇梶文雄 アースダム堤体における土の挙動からみた 3 全率 第 12 回土質工学シンポジウム (1967 年)
- 4) 山口柏樹, 大根義男 荻田および東郷アースダム土質工学ライブラリー 5 「建設工事における土質工学の実用例」 (1969 年)
- 5) 愛知用水公団材料試験室 東郷ダムの安全性に関する調査報告書 (1966 年)
- 6) 4) に同じ
- 7) 大根義男 フィルダムの安定性に関する土質工学的研究 東工大学位請求論文 (1968 年)

(原稿受付 1970.7.23)

→ 新 刊 紹 介

くい打ち技術ノート—設計・施工上のポイント—

株式会社間組技術研究部部长 藤田圭一 著

ここ数年来、構造物の基礎にはクイを用いるのが常識化したといつてよい程、クイは広い範囲にわたって使用されており、「クイを打っておけば大丈夫」というクイ至上の考えが広くいきわたっているようにも見える。

一方、クイは自然がつくった複雑な地盤に打込まれるにもかかわらず、打込み中はもとより打込み後の状態も直接確認することができない。このためクイの設計、施工には不明な点や未解決の問題点があり、いまだに多く残されているのが現状である。このような現状を十分認識したうえで、クイを打っておけば大丈夫という信頼感に依るには、まずクイを確実に施工することである。このためには、研究者、設計者、施工者が三位一体となった作業が必要で、クイの確実な施工は打込みを担当する現場技術者だけによって可能となるものではない。

本書は、このような立場にたって、打込み式既製グイの設計と施工における問題点を、クイの打込みという面から系統的に講述されており、これまでの打込み設備の解説や打込み時の問題を 2, 3 抽象的に説明したくい打ちの単なる解説書とは、まったく内容を異にしている。すなわち、著者はクイの設計と施工に関する 10 数年の研究の成果と経験を基に、鋼グイや PC グイの事例を数多く示しながら、クイの打込みにおいて生ずる全ての問題について、貴重な見解を具体的に述べている。

したがって、本書によって研究者や設計者は、クイ打ちの最近の技術と問題点を理解することができるとともに、研究者は研究の方向を、設計者はクイ打ち中の諸現象などについて新たな認識を得ることもできるであろう。また、クイ打ちを担当している現場の技術者にとっては、これまでのクイ打ちに関する個々の経験を整理し、系統だての役に立つとともに、クイ打ちの実用書としての役割も十分はたしてくれるものである。

研究者も含めクイの設計と施工に関係のある技術者はもちろん、基礎工学や土質工学にいささかでも興味のある方々にもぜひ一読をおすすめしたい。なお、本書の具体的内容は、次の目次で十分推察いただけると思う。

- | | |
|-------------------------|-----------------------|
| 1. くい設計、施工における誤りやすい諸問題 | 7. ハンマーの選定とその取扱い |
| 2. けい形状、寸法とその問題点 | 8. くい打ちやぐら、キャップ、クッション |
| 3. けいに加わる打撃力、キャップ、クッション | 9. 打込み精度、導わく、足場 |
| 4. けいの打止めと打込みの限界 | 10. 海上におけるけいの打込み |
| 5. けい材料の特徴、選定とその問題点 | 11. けいの鉛直支持力と沈下量 |
| 6. けいの継手、けい先端と頭部の加工 | 12. けいの水平支持力と変位量 |
| | 13. 載荷試験の方法と応力測定 |
| | 14. くい打ちの工費と工期 |
| | 15. くい打ちにともなう公害 |

発行所 日刊工業新聞社 (東京都千代田区九段北
1-8-10 TEL. (263)2311)
定価 1,200 円 (A 5 判 207 ページ)

(井上嘉信 記)