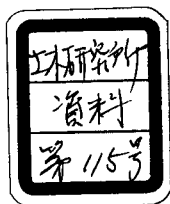


共通部門一自由課題

第19回建設省技術研究発表会

経済性を考慮した擁壁の自動設計について

11/5



昭和40年11月

建設省土木研究所

技術管理室



目 次

1. 概 要	1 頁
2. 設計条件	2
3. 自動設計	3
4. 扶壁式鉄筋コンクリート擁壁の設計	4
5. 突げた式鉄筋コンクリート擁壁	7
6. 各種擁壁の比較	8
7. 結 語	9

経済性を考慮した擁壁の自動設置について

建設省土木研究所技術管理室長 中村 慶一

技術管理室 富田 努

1. 概 要

土木工事には、よく擁壁が用いられるが、擁壁には種類も多く、型式の選定とか、適当な断面形状の選択という、実際上不可能と思われるほど多くの試算を要するような問題点も多い。

昭和39年度に土木研究所に新設された技術管理室では、土木構造物の標準設計を担当し、既にその「1」が全日本建設技術協会より刊行された。それには重力式コンクリート擁壁、突げた式鉄筋コンクリート擁壁が記載され、昭和40年度版には、ひき続き扶壁式鉄筋コンクリート擁壁の標準設計を掲載する予定なので、今後実際に擁壁を設計する機会も減少し、また上記の問題点も従前に比してかなり軽減されてきた。それらの設計々算には土木研究所に設置された電子計算機OKITAC-5090Hの活躍に負う所が多く、この図集は膨大な試算の結果得られた成果であり、この標準図に記載されてない高さの擁壁とか、特殊な土圧に相遇したときは、既に用意されているプログラムに、たゞ擁壁の高さ、土圧などの数値を与えれば設計図を画くのに必要な数値を知らせてくれるようになっていたので、後は単に図化作業のみでよく、しかもこのプログラムはALGOLを受け入れ得る電子計算機には入出力関係の命令を除きほとんどそのまま通用するし、プログラム自体は「電算速報」「標準化資料」に記載してある。

また経済的な型式とか、断面形状の選定という困難な問題にも、単にコンクリート、型わく、鉄筋工などの単価を代入して計算機にかければ、自動的に計算して最も経済的な型式を選び、計算結果を報告してくれる。すなわち、計算機はまず、重力式擁壁の設計を行ない、断面形状の諸寸法、コンクリート、型わくなどの材料と工費、さらに地盤反力、滑動、転倒などの安全率を求めて、それらの値を一度磁気テープ（以下MTと略称する）に格納し、続いて突げた式擁壁について、前面のフーチング長（以下前端巾と略称）をいろいろ変えて最も経済的な断面を選定し、上記のような数値に鉄筋関係の数値を加えて（鉄筋径、長さ、本数、重量などの鉄筋表、またピッチ、鉄筋の配置）、同じくMTに格納する。つぎに扶壁式擁壁について前同様に(1)扶壁の中心間隔、(2)前端巾、をいろいろ組み合わせて、扶壁式擁壁としての有利断面を選び出し、最後にこれと前に計算した重力式擁壁と突げた式擁壁との工費を比較して、一番安価な型式についての結果を印字してくれるので、実際上、今後計算をしなければならないケースは非常に少なくなると思われる。

しかし既刊の標準設計図集には、単価が施工地点、施工時期、によつて異なるので、一律に例示することの不可能さもあつて型式の選択基準はのせないし、電子計算機による試算結果によると、材料の性能そのものの向上、物価の変動などの要因により、一般の書籍に記載されている結果とは必ずしも一致しない点もあるので、実際に設計をする必要にせまられたときのデータとして試算結果を示すこととする。

2. 設計条件

自動設計に用いた設計条件を示すと、

(1) 設計条件

表-1 単位重量

	単位重量 (t/m^3)
土	1.80
コンクリート	2.35
鉄筋コンクリート	2.50

表-2 許容応力

	コンクリート (kg/cm^2)	鉄筋コンクリート (kg/cm^2)	鉄筋 (kg/cm^2)
圧縮	40	70	—
引張	1	—	SD30 1600 SR25 1400
せん断	5	5	—

(2) 安全率

- (a) 合力の作用点が中央 $\frac{1}{3}$ 以内にあること。
- (b) 転倒の安全率 1.5 以上
- (c) 滑動の安全率 (キーのある場合) 2.0 以上

(3) 土 圧

擁壁背面に作用する土圧についてはテルツアーギの土圧公式にしたがつて背面上を次の5つに分類し、それぞれの土圧係数によつて土圧力を水平と垂直分力 (背面水平のときは考慮しない。) に分けて算出した。(表-3~4, 図-1 参照)

表-3 土の分類

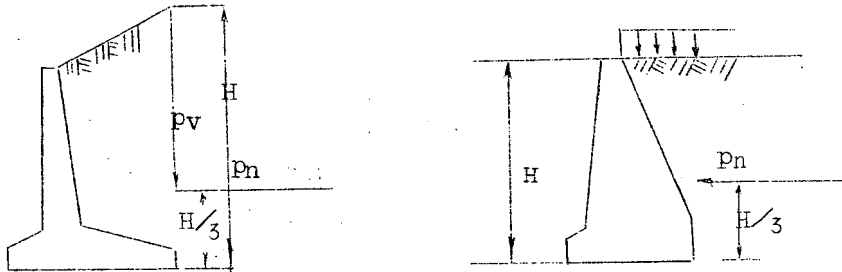
(1)	細かな土粒子を含まない粗粒土、非常に透水性大 (きれいな砂または砂利)
(2)	シルト系の粒子を含むために透水性の低い粗粒土
(3)	石や細かなシルト質砂をもつた残積土、および粘土を顕著に含んだ粗粒土
(4)	非常に軟かい土、または軟い粘土、有機質シルト、またはシルト質粘土
(5)	塊状にたい積し、洪水または豪雨中、その間の隙にほとんど水が浸入しないようになっている普通の硬さの粘土、ないし硬い粘土

このうち(1)~(3)の3種類について表-4の土圧係数を用いる。

表-4 土圧係数

土の種類	土 圧 係 数					
	背 面 水 平		背 面 盛 土			
	水	平	水平	垂直	垂直力と水平力との角	
(1)	0.28	(34°~00')	0.53	0.21	(34°~30')	26°~45'
(2)	0.33	(30°~00')	0.62	0.36	(33°~48')	29°~55'
(3)	0.40	(26°~00')	0.70	0.43	(32°~57')	31°~15'

() 内の値はクーロン公式に代入したときの内部まさつ角である。



$$\begin{cases} P_h = \frac{1}{2} \times K_h \times N \times H^2 \\ P_v = \frac{1}{2} \times K_v \times N \times H^2 \end{cases}$$

$$\begin{cases} N = \text{土の単位重量} \\ K_h = \text{土圧係数 (水平)} \\ K_v = \text{土圧係数 (垂直)} \end{cases}$$

図-1 土圧の計算

- (4) 地震荷重は考慮しない。

地震時の土圧については、まだ一般に信頼できるような計算理論や、十分な実測資料がなく、また地震によって破壊した実例があまり認められないので、一般に擁壁の設計では地震時の応力を考慮する必要はないようである。

- (5) 過載荷重

擁壁背面が水平の場合にはT-L20に相当する活荷重を土に換算して7.5 cmの過載荷重として設計した。

- (6) 盛土こう配は1 : 1.5と仮定した。

3. 自動設計

擁壁の設計に用いたプログラム例や、計算手順は既述の資料に記載してあるので、こゝでは省略するが、計算方法としては、始め十分に小さい値か、または施工上などから制約される最小値をあたえておいて、計算をさせ、始めの仮定値が小さくて満足できないなら、満足するまで、少しずつ値を大きくして計算をくり返す方法を採用し

た。

4. 扶壁式鉄筋コンクリート擁壁の設計

扶壁の高さを4 mより0.5 mおきに8 mまで9種類選び、扶壁中心間隔を最小1.2 mから5 m程度まで10 mずつ変化させて試算を行なった。その結果にコンクリート6,500円/m³、型わく1,050円/m²、鉄筋47円/kgの単価を乗じて得られたのが図-2であり、前壁厚さ5 cmずつ不連続に変えたので、25 cm→30 cm、また30 cm→35 cmになる直前では、たしかに工費も安くなっているが、一般に云われている程大きな変動もなく、むしろ実際に配置した鉄筋数量の不連続（鉄筋径、ピッチなどの影響によるものであり、プログラムでは主鉄筋についてはまずφ16の鉄筋について、中心間隔を30、25、20、15、12.5 cmと変化させて、いづれも必要断面積に足りなかつたときは、鉄筋径をφ19にして、同様に配筋量が必要鉄筋量を満足するまで上記の操作をくり返させるようになっていいる。）による影響の方が大きい。試算では、背面土の土の種類を最も一般的と思われる(2)シルト系の粒子を含む透水性の低い粗粒土を選び、施工性の点から、前壁の壁厚を高さ4.5 m以下の低い擁壁では25 cm、それ以上では30 cmとし、市販の鋼製型わくが使用でき、しかも工費が比較的安価と

図 2 純工費と扶壁中心間隔との関係図
(擁壁10 m間隔)

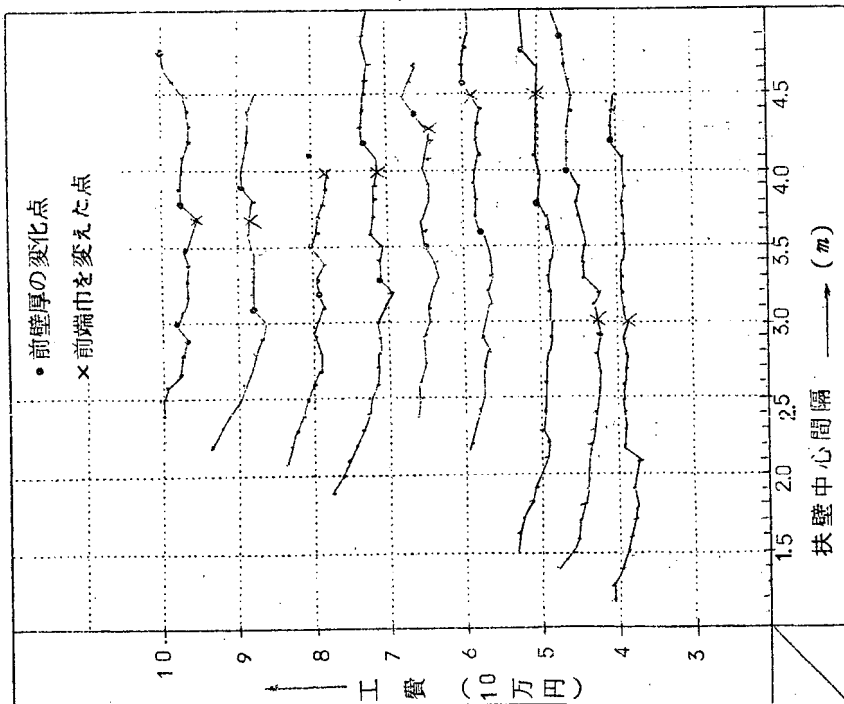


図-4 鉄筋量と扶壁中心間隔との関係
(擁壁10m当り)

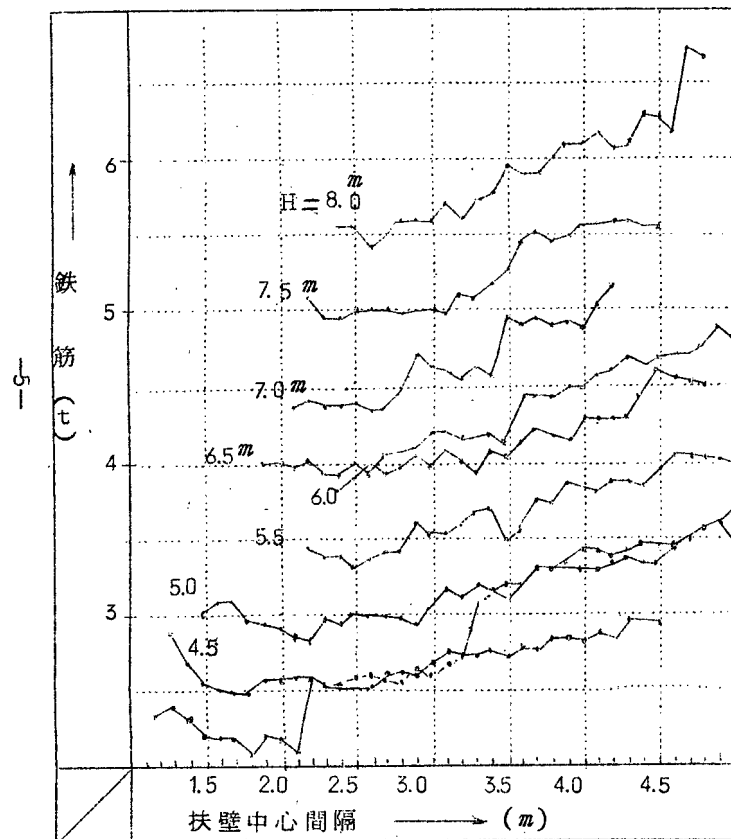


図-3 コンクリート量と扶壁中心間隔との関係図
(擁壁10m当り)

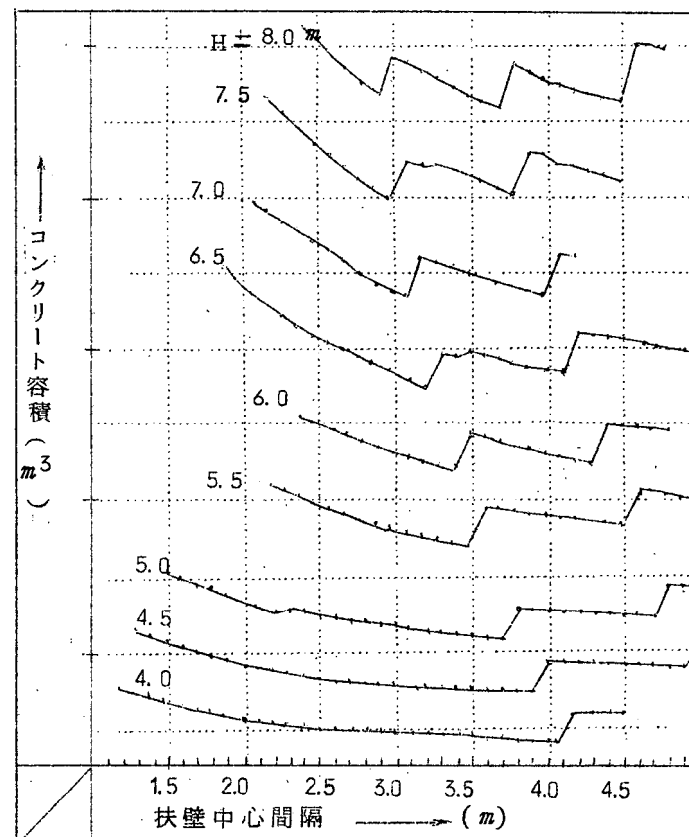


図-6 純工費と前端巾との関係
(擁壁10m当り)

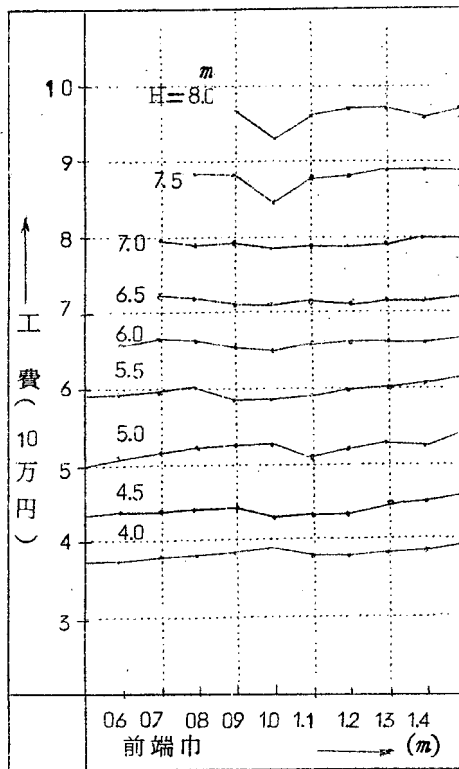


図-5 型わく面積と扶壁中心間隔との関係図
(擁壁10m当り)

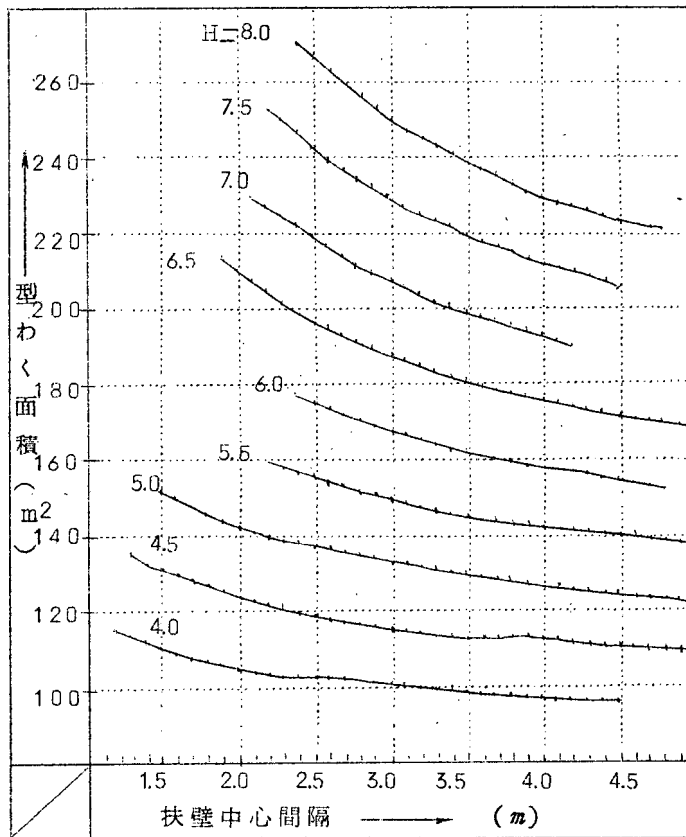
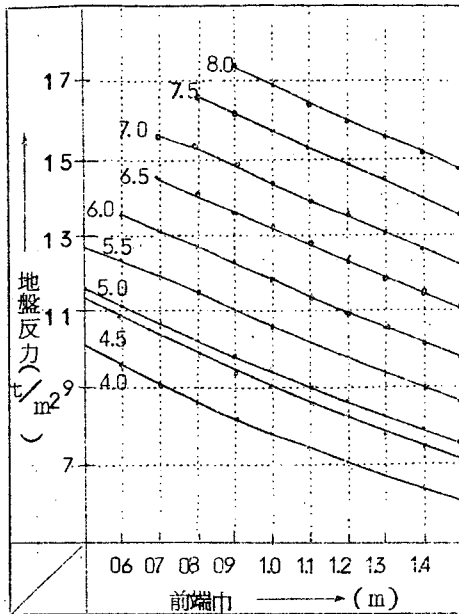


図 7 地盤反力と前端巾との関係図



なるような扶壁中心間隔を選び出して、前端巾を変化させ図-6を得た。前端巾の工費にあたる影響はあまり顕著ではないが、前壁を後方に下げる程、前面の地盤反力が減少し、また滑動の安全率もほぼ直線的に減ずる（図省略）。既述のように単位は場所と時期によって変化するので、必要に応じて簡単に比較できるよう主要資材を図-3～5に掲げた。図においてコンクリート量が急変するのは前壁厚が変化するためであり、鉄筋では実使用量を連続的に変えることが不可能なためである。

5. 突げた式鉄筋コンクリート擁壁

突げた式擁壁では高さを3 mから0.5 mおきに7 mまで選び、扶壁式擁壁と

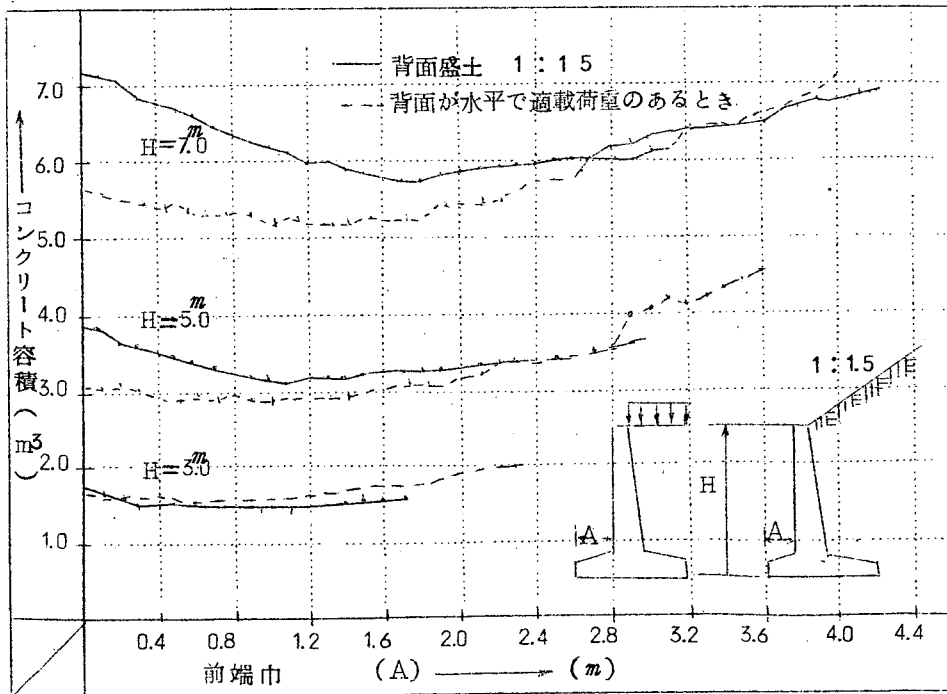
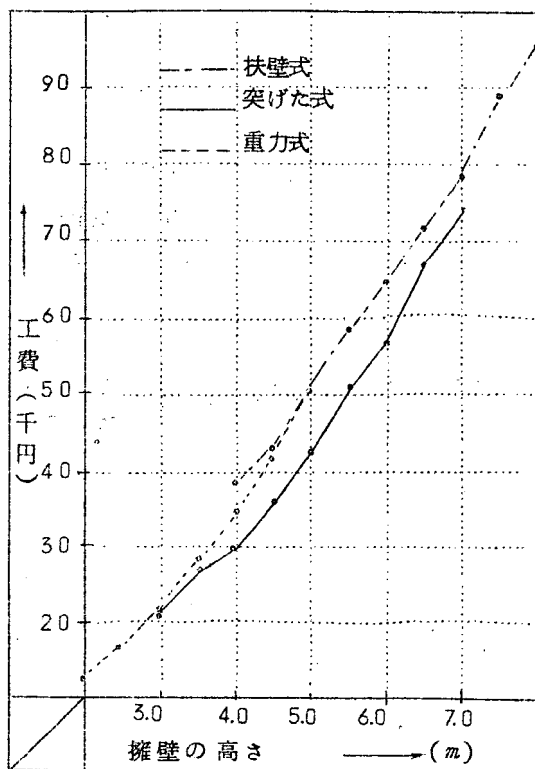


図 8 突げた式擁壁と前端巾 (A) とコンクリート重

同じく前端巾を10cmづつ変化させた。コンクリート量と前端巾との関係を図示すると図-8のようであり、擁壁背面が水平で20 t 自動車の過載荷重のあるときは、その影響は少なく、また前壁を後退させれば、当然の事ながら最大地盤反力は減少する。

6. 各種擁壁の比較

図-9 各種擁壁の純工費比較図
(擁壁1m当り)



重力式擁壁についても高さ2 mから0.5 mおきに5 mまで変化させて設計々算を行ない、上記の扶壁式、突げた式の3種類の擁壁について、それぞれ最も有利な型式を集めて、擁壁の高さ毎に集計したのが図-9である。この試算に表-5のような単価を仮定した。

これによると、突げた式工費的にみて有利であるばかりでなく、地盤反力は扶壁式と重力式の中間であるが、(図-10 参照) 滑動安全率は高さ4.5 mまでは重力式と相違なく、扶壁式より、はるかに優れている。現在のようにコンクリート用骨材が割り高な時代には、コンクリートのみによる重力式擁壁よりも、比較的安価な鉄筋を使用する方が有利な点が多い。

表-5 試算に用いた単価表

	コンクリート (円/m ³)	鉄筋 (円/t)	型わく (円/m ²)
重力式	5,800	—	565
突げた式	6,500	47,000	855
扶壁式	6,500	47,000	1,050

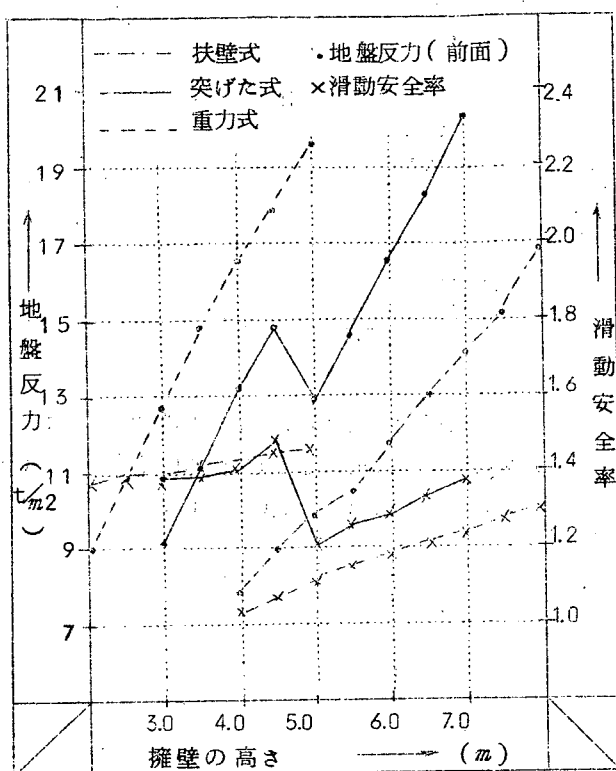


図 10 各種擁壁の地盤反力と滑動安全率の比較
(キーのない場合)

7. 結 語

1960年に電子計算用国際共通語ALGOLが出来たので、現在では2日間程度の簡単な学習により、誰でも、容易に電子計算機を利用できるようになった。今までとても大変だと思われていた複雑な計算も、気楽に計算させられるようになり、例えば扶壁式擁壁の設計では、鉄筋表の作製から鉄筋の配置まで含めて、計算時間は僅か5秒、それに附図のような印字をさせると、これに50秒要するが、それでも1分足らずで終了するのでこのような膨大な試算が可能となった。

この計算結果から要約できることは、擁壁の経済的設計をするためには、

- (1)重力式擁壁はせいぜい高さ3.5mまで。(従来は5m前後といわれていた。)
- (2)高さ4m以上の擁壁では突げた式が絶体的に有利である。

たゞ扶壁式擁壁では地盤反力が小さい(高さ7mの場合、突げた式の70%に過ぎない)ので基礎地盤が弱く、くいその他で滑動抵抗力を補い得るなら、経済的によい型式といえる。要するに鉄筋コンクリート製擁壁の方が無筋コンクリート擁壁より有利な場合が多い。

扶壁式擁壁では、扶壁中心間隔は従来、擁壁の高さの0.3～0.35倍が最も経済的と

いわれていたが、材料の質の向上などの条件もあつて現在では広くとつた方が有利であり、その大略の標準を表-6に示す。また前端巾は1m程度がよいようである。

表-6 擁壁の高さと扶壁中心間隔

擁壁の高さ(m)	扶壁中心間隔(m)	擁壁の高さ(m)	扶壁中心間隔(m)
4.0 ~ 4.5	3.0	6.5 ~ 7.0	4.0
5.0 ~ 5.5	4.5	7.5 ~ 8.0	3.7
6.0	4.3		

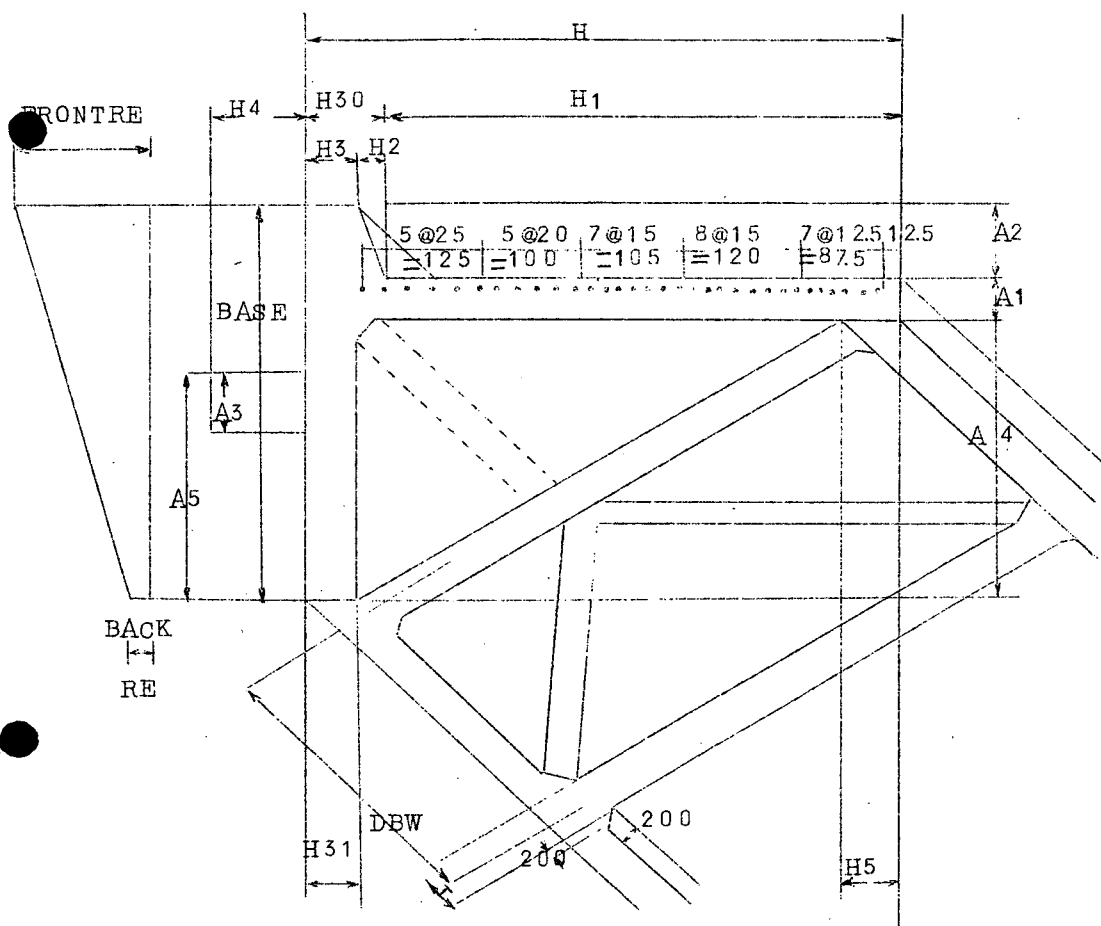
〔参考文献〕

1. 建設省制定 土木構造物標準設計集I 全日本建設技術協会発行
2. 建設省土木研究所資料 第56号 建設技術標準化資料第1号(昭和39年度)
3. 建設省土木研究所資料 第38号 電算速報第1号
4. テルツアーキ・ペツク 土質力学

< 附 図 >

今まで述べてきた方法によつて電子計算機によつて計算させた結果を添付する。こゝには高さ 6 m をあたえたときの最も経済的な扶壁式擁壁を印字した例である。附図中の記号を図-11 に記録する。

図-11 電子計算結果の記号



***** STANDARD DESING OF BUTTRESS WALL *****

***** C O N D I T I O N *****

H = 6.00 FL = 1.00 C = 0.33 DBW = 4.300

***** S E C T I O N *****

A1 = 0.30 A2 = 1.00 A3 = 0.40 A4 = 2.00 A5 = 1.85 BASE = 3.30 T = 0.50
H1 = 5.40 H2 = 0.10 H3 = 0.50 H4 = 0.60 H30 = 0.65 H31 = 0.50 H5 = 0.50

***** R E I N F O R C E M E N T *****

***** F R O N T W A L L *****

HX	AX	AS	ASL	D	N	PITCH	SA	CA	SENDAN
0.500	2.0625	6.6200	1.5131	16	3	30.000	46.72	1.03	0.00
1.100	11.2691	11.4600	2.6194	19	4	25.000	824.98	25.12	0.00
2.200	14.2303	14.3250	3.2743	19	5	20.000	1064.07	37.03	0.00
3.300	16.6736	19.1000	4.3657	19	6	15.000	1112.64	46.16	0.01
4.400	18.8021	19.1000	4.3657	19	6	15.000	1414.84	58.70	0.01
5.500	20.7129	22.9200	5.2389	19	8	12.500	1445.91	67.22	0.01

***** B A C K B A S E *****

BX	AX	AS	ASL	D	N	PITCH	SA	CA	SENDAN
2.000	22.4810	22.9200	5.2389	19	8	12.500	968.36	32.40	0.01
1.500	20.6952	22.9200	5.2389	19	8	12.500	820.63	27.46	0.01
1.000	18.7400	19.1000	4.3657	19	6	15.000	800.36	24.02	0.00
0.500	16.5556	19.1000	4.3657	19	6	15.000	624.64	18.75	0.00

***** B U T T R E S S W A L L *****

HXT	AX	AS	ASL	D	N	PITCH	SA	CA	SENDAN
1.100	1.9564	11.6130	2.6544	22	3	16.000	244.59	1.96	0.28
2.200	6.1206	11.6130	2.6544	22	3	16.000	758.95	4.60	0.81
3.300	12.1708	15.4840	3.5392	22	4	32.000	1131.00	6.65	1.57
4.400	20.0756	23.2260	5.3088	22	6	16.000	1246.28	7.93	2.57
5.500	29.8267	30.9680	7.0784	22	8	10.667	1390.42	9.24	3.81

***** K E T S U G O T E K K I N *****

1.10	0.508	6.620	16	3	30.0	0.50	11.753	13.240	16	6	15.0
2.20	1.292	6.620	16	3	30.0	1.00	9.960	13.240	16	6	15.0
3.30	2.436	6.620	16	3	30.0	1.50	8.167	9.930	16	5	20.0
4.40	3.939	6.620	16	3	30.0	2.00	6.374	6.620	16	3	30.0

***** F R O N T B A S E *****

A2L	AX	AS	ASL	D	N	PITCH	SA	CA	SENDAN
1.000	18.5189	19.1000	4.3657	19	6	15.000	622.14	16.43	0.00

***** S A F E T Y F A C T O R *****

OVERTURN = 1.837 (2.171) SLIDE = 2.069 (1.170) KEY = 4.9030
FRONT RE = 11.863 (11.681) BACK RE = 7.459 (7.278) P = 7459.5 Q = 10.128

***** V O L U M E *****

CONCRETE = 18.2717 (17.2397) MOLD = 67.1778 (62.0178) **** ** 4.300 M ATARI KEISAN
10 M ATARI CONCRETE = 42.4922 10 M ATARI KATAWAKU = 156.2274

$$W/10M = 4294.921 \quad C = 646005.3$$