

昭和48年(ワ)才457号長良川河口堰建設事業差止請求事件

鑑定書 (そのIV)

昭和52年 12月

鑑定人

日野 幹雄 

乙40号, 「長良川河口堰建設事業における漏水対策工
の効果について」の鑑定

目次

1. はじめに
2. 基礎偏微分方程式について
3. 計算方法—有限要素法(FEM)について
4. 地質および透水係数について
5. 漏水対策工の効果
6. その他の問題点
7. 計算結果の信頼性について
8. 結論

1. はじめに

長良川下流部の沿川地域は、海面下のいわゆるゼロメートル地帯であり、現状でも河川水位の上昇が継続する洪水時には、堤内地にガマ(自噴水)が多発している。

長良川河口堰事業では、洪水流通能の向上のため大規模な河道浚渫による流積拡大を行い、かつ平常時においては堰ゲート操作により満潮位程度の河川水位を常時保持することを計画している。

これにより問題となる漏水対策工として堤内地に承水路、堤外地にブランケット工を設置することになっている。本鑑定書はこれらの漏水対策工の効果の計算の検討を行ったものである。

2. 基礎偏微分方程式について

多孔質内の滲透層の流れを記述する法則は Darcy 則と呼ばれるものである。それは、滲透層内の見掛けの流速（多孔質媒体中の空隙を通る実際の流速ではなく、媒体全体を水が通ると見た場合の流速）は流れの方向の圧力勾配に比例するというものである。ベクトル（流速のように方向と大きさをもつもの）があるスカラーのその方向への偏微分から導かれるとき、そのスカラーをポテンシャルと呼ぶ。流れの連続の方程式とこの関係から、滲透流の基礎方程式(1)が導かれる。

$$\begin{cases} \nabla = \text{grad } \Phi \\ \text{div } \nabla = 0 \end{cases}$$

あるいは

$$u = -\frac{\partial \Phi}{\partial x} = -k_x \frac{\partial H}{\partial x}$$

$$v = -\frac{\partial \Phi}{\partial y} = -k_y \frac{\partial H}{\partial y}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial H}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial H}{\partial y} \right) = 0 \quad (1)$$

こゝに、 k_x 、 k_y はそれぞれ x 方向 y 方向への透水係数、 H は全水頭である。これは、滲透層の主方向が x および y 方向である場合に正しい。

より一般的には透水係数はテンソル \mathbb{K}

$$\mathbb{K} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{pmatrix} \quad (2)$$

を形成し、基礎方程式はフラックス \mathbf{F} に関して次のように表わされる。

$$\operatorname{div} \mathbb{F} = 0 \quad (3)$$

$$\mathbb{F} = \mathbb{K} \operatorname{grad} H \quad (4)$$

$$\begin{pmatrix} F_x \\ F_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} k_{xx} & k_{xy} \\ k_{yx} & k_{yy} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \frac{\partial H}{\partial x} \\ \frac{\partial H}{\partial y} \end{pmatrix} \quad (5)$$

いまの場合、地層は水平であり。

$$k_{xx} \rightarrow k_x, \quad k_{xy} = k_{yx} = 0$$

$$k_{yy} \rightarrow k_y$$

として良く、結局式(1)を用いることは妥当である。

3. 計算方法 — 有限要素法(FEM)について

基礎微分方程式の解法には、純数学的方法(解析的方法)と数値的方法および相似実験的方法がある。解析的方法は特に具体的数値を与えることなしに、一般形の解を与える秀れたものであるが、この方法は境界条件が単純な場合にのみ可能である。与えられた境界そのものに対する解ではなくとも、ある程度それに近い単純な境界条件のもとに解析解が得られれば、それは解の一般的傾向を把握するために極めて有用である。

相似実験的方法は、透過層そのものの模型実験を行うとか、基礎方程式の相似性からこれを電気相似(電位—透過層ポテンシャルの相似)とか Hele-Shaw モデル(間隙中の粘性流体との相似)によるものがある。これらの方法は透過流を視覚的に縮小して見られることから複雑なケースの解析に広く用いられたが、現在では次に述べる数値的方法が一般化したため用いられることが少なくなってきている。

数値的方法は、対象とする領域に格子網を画いて、数値的に与えられた具体的条件に対して各格子点での数値も求めようとするものである。そのためには、数学的一般的表現—いまの場合偏微分—を数値的表現に置き換えることが必要である。これに代りては差分法と呼ばれる方法が広く用いられて来た。しかし、本件のような線型問題についてはこの数年の間に有限要素法(FEM)が導入され多用されるようになった。FEMは構造力学や線型系の数値解析には特に有効となった。それは、差分法にみられるような収束発散の問題がないこと、必要の部分のみ細かい網を張ることができること、計算作業が機械的にできプログラムが完備していることなどの理由による。

FEMの計算アルゴリズムは特に難しいものではなく、電算機サブライブライブラリーにも組み込まれているほどである。

4. 地質および透水性係数について

乙才40号証ノ六, p.2-3および図-2に述べられている長良川下流部の地質と透水性係数の選定が妥当なものであるか否かを理論的に検討することはできない。これらは現地におけるボーリングや透水性試験による以外にはなく, 以下に行う追加計算においても上記の値を採用する。

5. 漏水対策工の効果——(河口堰完成後の河川水位上昇による地下水圧分布)

(1) 漏水対策工を施さない場合:

堰完成後、河川水位は T. P. 0.3 m より T. P. 1.3 m に上昇する。その際に支承口やブラケット工を設けなかった場合の地下水圧分布は図-1 のようになる。現状の地下水圧分布(図-5 後出: 乙第40号証、六の図-5 と同じ)と比較すれば(ただし両図の表示の縦・横縮尺比が異なるので注意を要する)、堰完成後何らの漏水対策工を施さなければ、堤内地の地下水圧は増加する。

とにかく堤防基部の地下水圧の上昇はガマ(自噴水)の増加と堤体の力学強度の低下をもたらす。例えば、観測井の水位は次のように増加すると予想される。

表1—堰完成後漏水対策工なしの場合

	現状	堰完成、漏水対策工なし
No.1 観測井	+0.54 m (+0.60)*	+0.70 m
No.2 観測井	+0.37 m (+0.47)*	+0.32 m

* 観測値

No.2 観測井に代表される堤防よりやや離れた堤内地下層の地下水圧にそれほど変化がないのは、堤体内浸潤面および堤体基部からの湧水増加による圧力開放のためと解釈される。

(2) ブラケット工のみの場合:

次に、漏水対策工として堤外地(河川敷内)にブラケット工のみを施工する場合の地下水圧分布を計算した結果が図-2 である。ブラケット工により地下水流路が長くなり、その結果河川水位の上昇にもかかわらず動水勾配 $\Delta p / \Delta l$ はそれほど増加せず、堤体より遠い堤内地の地下水圧は現状に較べてむしろ減少する傾向にある。

表-2 : ブランケット工のみの場合の地下水圧の変化

	現 状	堰完成後 ブランケット工のみ
No.1 観測井	+0.54 ^m (+0.60)*	+0.57 ^m
No.2 観測井	+0.37 ^m (+0.47)*	+0.22 ^m

* 観測値

しかし、堤体基部の地下水圧は現状に較べて 10~20 cm 増加し、湧水現象は一層顕著になるであろう。

(3) 承水路のみを設けた場合:

漏水対策工として堤内法先附近の地表面下 2~3m のところに承水路のみを設けた場合の計算結果が図-3 である。

表-3 : 承水路のみ設けた場合の地下水圧の変化

	現 状	堤完成 承水路のみ
No.1 観測井	+0.54 ^m (+0.60)*	-0.25 ^m
No.2 観測井	+0.37 (+0.47)	+0.35 ^m

* 観測値

この結果堤内地(特に承水路より以遠の)の地下水圧低下は著しく地下水水頭はほぼ等分布となりしたが、長良川よりの地下水の浸透は少くなくなり田畑の湿田化やガマの発生は止め、その効果が大きいことは明らかである。しかし、一方承水路附近は等地下水圧線が混み合い、動水勾配は増加し、丁度天気図の等圧線間隔が密になる場合のように、地下水流速は増大する。ガマという形は採らないけれども河川水は大量に堤防から漏れる。その結果単に河川水の無効流出問題、支承路に集水された地下水の排水問題が生ずるのみならず、堤体の力学強度の低下にもつながるであろう。このよう

な事態を防止するには、ブラケット工による地下水流路の延長が効果的である。

(4) 承水路とブラケット工をともに設けた場合

図-4(これは乙第40号証ノ六の図-6に対応)は承水路工とブラケット工の両方を設けた場合の地下水圧分布で、地下水圧勾配の大幅な緩和は明らかである。

なお、参考までに現状の河川堤防断面・河川水位(T.P. +0.3^m)についてブラケット工のみを設けた場合の地下水圧分布を図-6に示す。また、同じく現状に対して、承水路のみを設けた場合の地下水圧分布を図-7に示す。

6. その他の問題点

一般に地下水がある点からあるいは帯状に地表に流出する場合には、その点の周りの等ポテンシャル線は混み合い、地下水流速は増加する。この流速増加のため、透水法則が線型則 (Darcy 則) の範囲からはずれることもしばしば起るし、また 流水が土粒子を移動させる現象もみられることがある。

本計算でも、堤体基部や承水路はこのような等ポテンシャル線の密になる地点である。これらの部分については一部部分を切り採り、よりメッシュを細かくした FEM 計算を行い、地下水流速 (より正確にはレイノルズ数) が十分低い範囲にあることを検討しておくことが望ましい。公団計算では長良川・大江川間の地下水流の全域を対象として計算が行われているので、細部についてはその結果を境界条件とした別途計算を行えば良い。

7. 計算結果の信頼性について

設計計算の結果が正しいか否かは

- ① まず、与えられた条件ないしは仮定された条件が正しいか否かという点にある。例えば、本件では透水層・不透水層の厚さや配列および透水係数の値などである。
- ② 次に、与えられた条件のもとに理論ないしは理論式が正しく構成され、十分な精度で解かれているか否かということである。

技術計算の理論・方法と計算手法・計算機の発達した今日では、②の点については一般に問題がないと考えて良い。

こうした設計が正しいか否かは、むしろ与えられた条件ないしは仮定された条件が正しいか否か、そしてその条件が十分長い期間にわたって保持されるか否かということにかかっていると思われる。例えば、仮定された地層配列および透水係数がほとんどすべての断面で満されているとしても、一箇所地点で弱点があれば、そこから漏水が始まり、場合によっては立り面の発生・堤防の決壊となるであろう。また、支承路が不等沈下や流入土砂による目づまりのために機能が果せなくなることはないよう設計と保守を十分注意深く行わなければならない。

いま一つは、ブランケットが洪水時等に洗堀を受けることが無いのかの検討とまた同時に保守の完全を期することが必要である。このことはダム建設を例にとればより明確であろう。重力ダム建設では、ダム頂体下部や側面の岩のわれ目を通しての漏水がないようにグラウテングが綿密に行われる。アーチダムでは貯水池の水圧はアーチ脚部に伝えられる。ここでは岩が十分な bearing power をもつように強大なアバットメントが造られる。いずれも技術的に可能な限り岩盤からの漏水防止や支持力の強化向上を量り設計条件を十分満すためである。

ダムの場合には規模的には大きくとも、対象範囲はダム地点一箇所であるが、長い堤防の場合にも施工の确实性の検査や完工後の機能保持などが十分施される必要がある。

8. 結論

(1) 「長良川河口堰建設事業における漏水対策工の効果」の計算書には、基礎方程式・数値解法とも問題点はない。

(2) 漏水対策工の効果を更に検討するため

④ 堰完成後；漏水対策工なしの場合

⑤ 堰完成後；ブランクett工のみの場合

⑥ 堰完成後；承水路のみの場合

について追加計算を行った。その結果、承水路・ブランクett工を施すことは、ガマの防止・漏水対策として有効であり、また湿田化の心配のないことが確認された。

(3) 堤体基部と承水路の近旁についてはメッシュを細かく採った部分計算を行い、地下水流速(レイノルズ数)が十分小さい範囲にあるか否かを検討することが望ましい。

(4) これらの対策工が計算通りの漏水効果を発揮するためには、施工および完工後の保守・点検を十分に行うことが必要である。

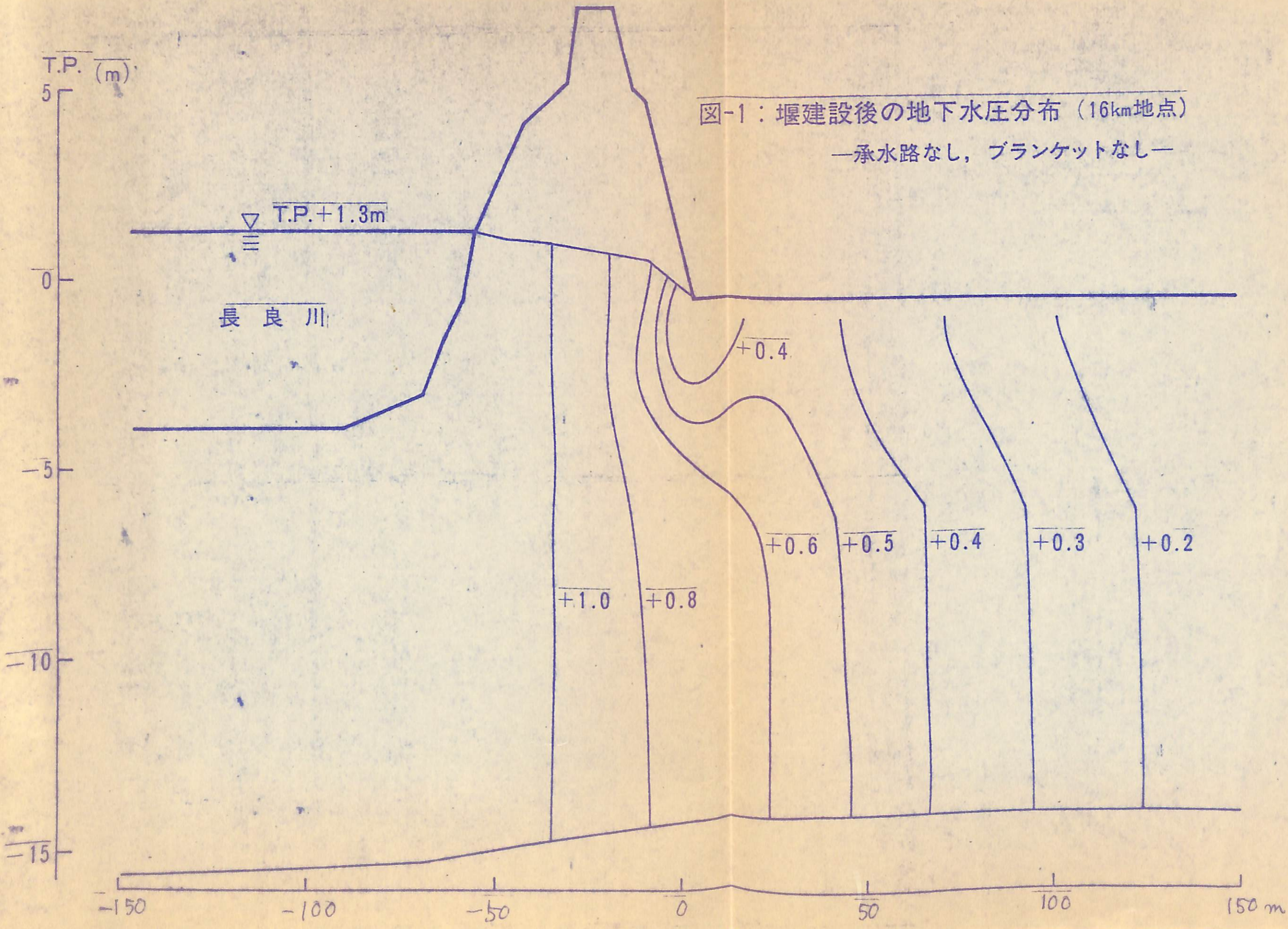


図-1: 堰建設後の地下水圧分布 (16km地点)

一承水路なし, ブランケットなし

T.P. +1.3m

長良川

+0.4

+0.6

+0.5

+0.4

+0.3

+0.2

+1.0

+0.8

T.P. (m)

5

0

-5

-10

-15

-150

-100

-50

0

50

100

150 m

T.P. (m)

5

0

-5

-10

-15

▽ T.P. +1.3m
≡

長良川

-150

-100

-50

0

50

100

150 m

図-2：堰建設後の地下水圧分布（16km地点）
—ブランケットあり，承水路なし—

+1.0

+0.8

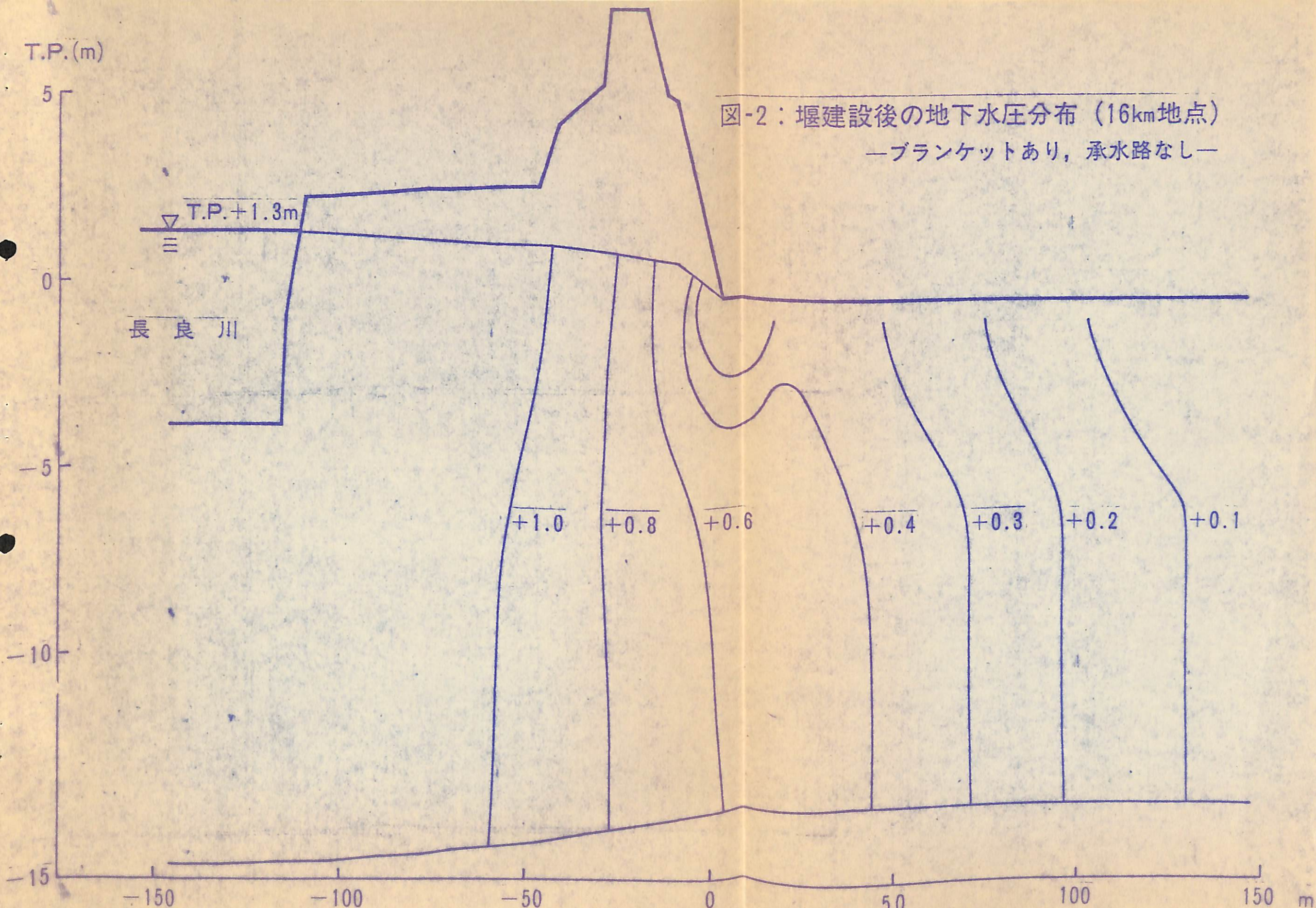
+0.6

+0.4

+0.3

+0.2

+0.1



T.P. (m)

5
0
-5
-10
-15

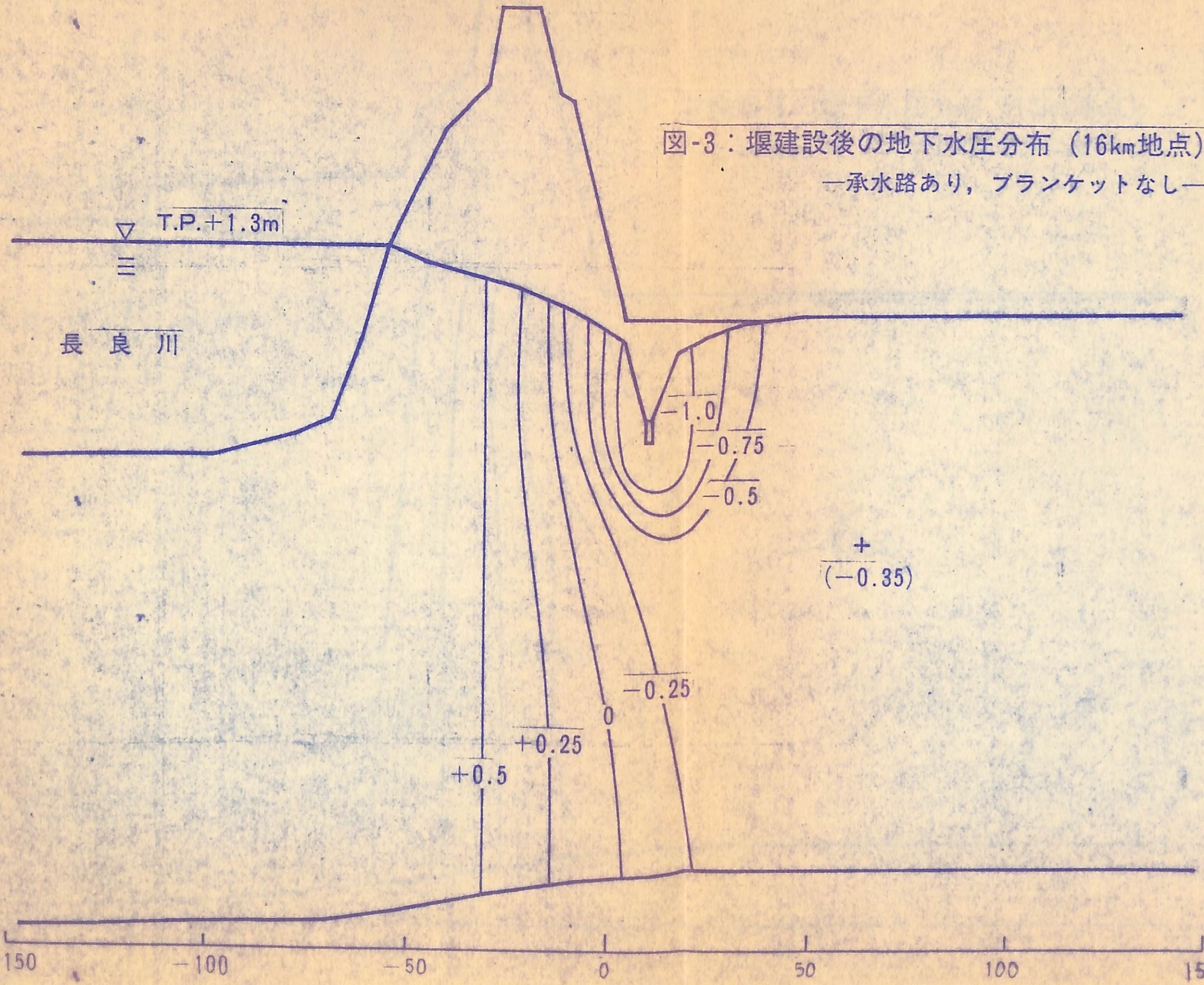


図-3：堰建設後の地下水圧分布 (16km地点)

—承水路あり，ブランケットなし—

T.P. (m)

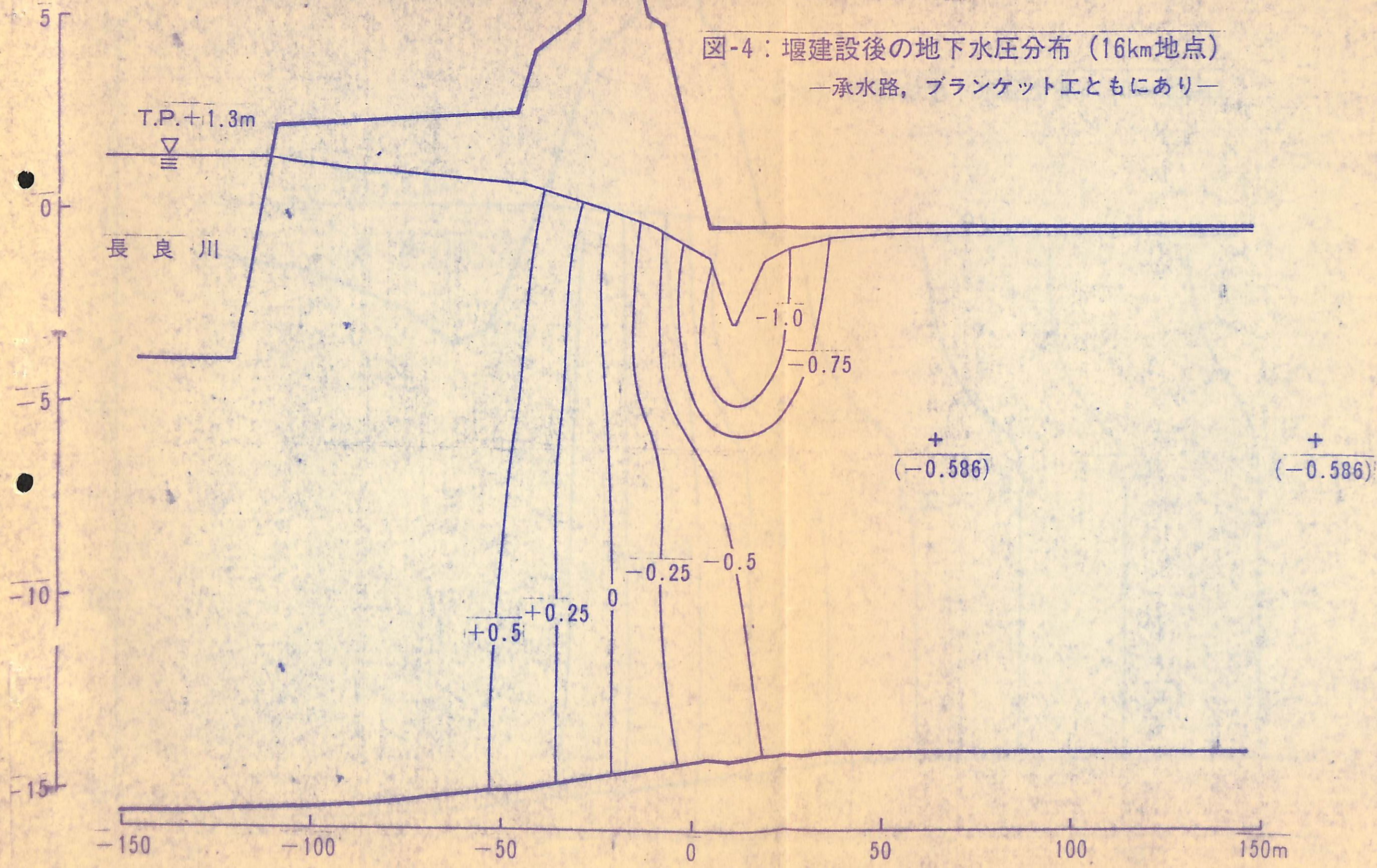


図-4：堰建設後の地下水圧分布（16km地点）
—承水路，ブランケット工ともにあり—

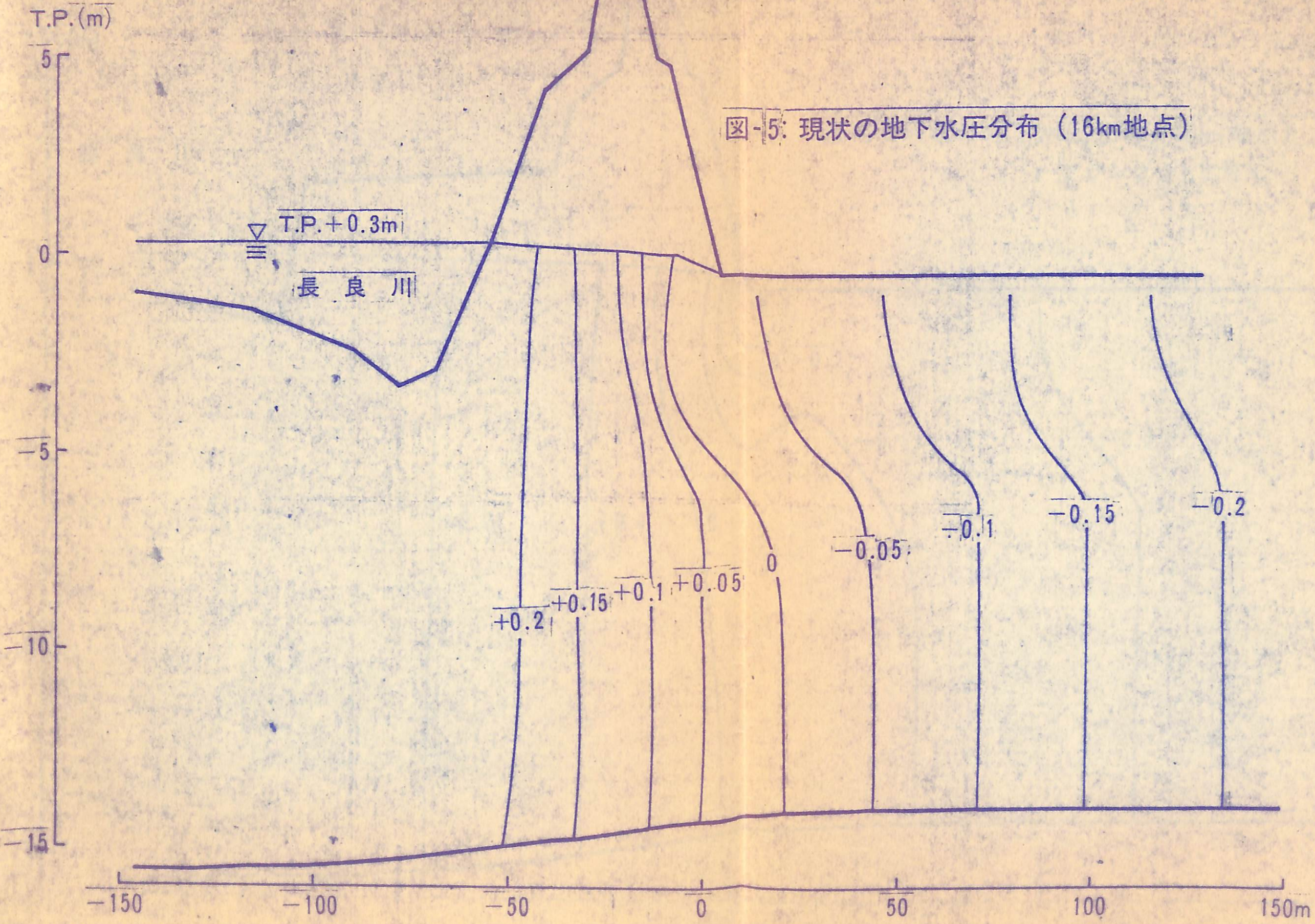


図-5: 現状の地下水圧分布 (16km地点)

T.P. (m)

5

0

-5

-10

-15

T.P. + 0.3m

長良川

+0.2

+0.15

+0.1

+0.05

0

-0.05

-0.1

-0.15

-0.2

-150

-100

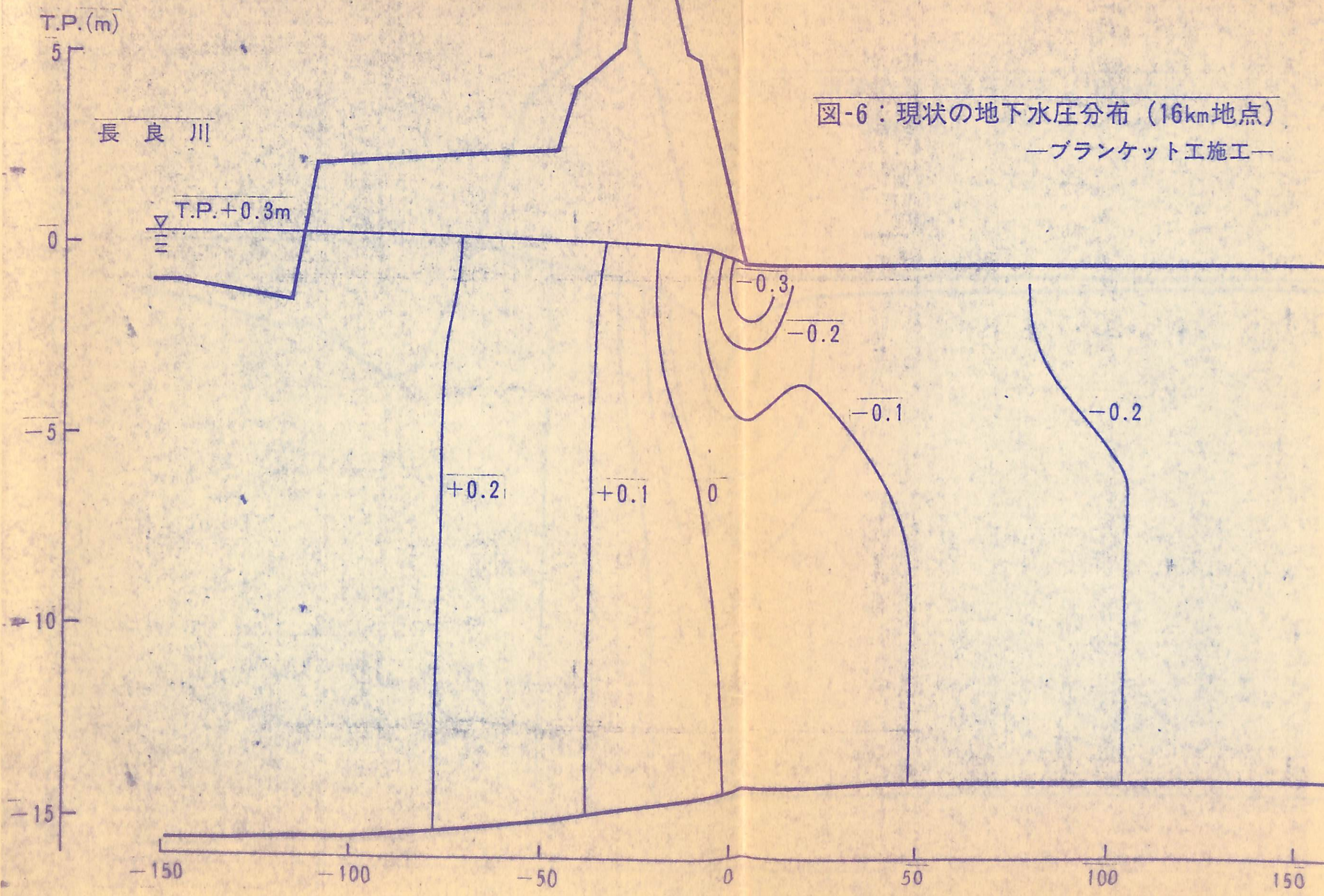
-50

0

50

100

150m



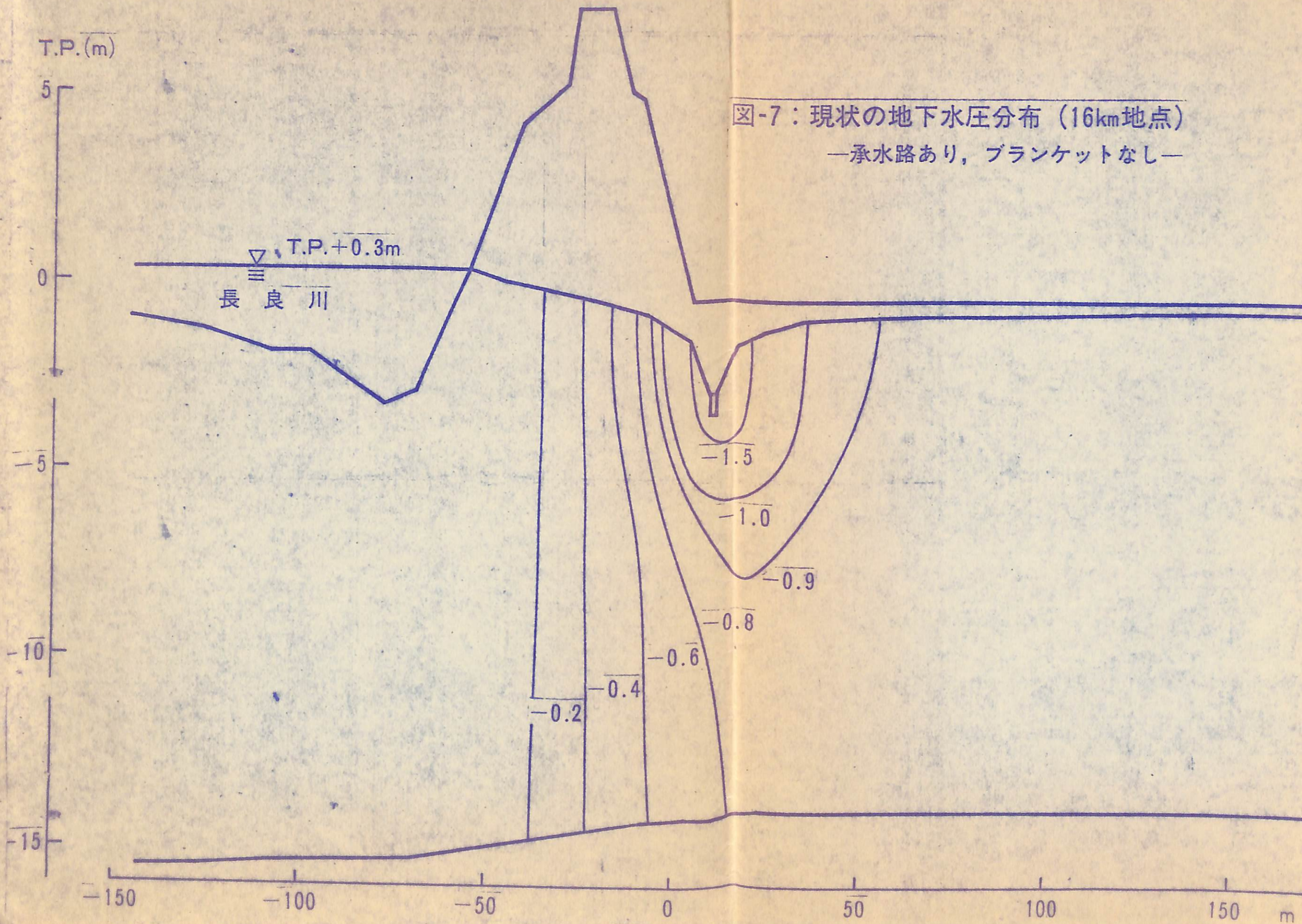


図-7: 現状の地下水圧分布 (16km地点)
 ー承水路あり, ブランケットなしー

T.P. (m)

5

0

-5

-10

-15

T.P. +0.3m

長良川

-1.5

-1.0

-0.9

-0.8

-0.6

-0.4

-0.2

-150

-100

-50

0

50

100

150

m