

岩盤のルジオン値分布形状のモデル化

貝沼憲男¹・安田 登²・松島 学³・神藤健一⁴・吉野尚人⁵

¹正会員 東京電力(株)電力技術研究所土木グループ(〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

²正会員 工博 東京電力(株)電力技術研究所土木グループ(〒230-8510 神奈川県横浜市鶴見区江ヶ崎町4-1)

³正会員 工博 東電設計(株)技術開発本部コンクリート・材料チーム(〒110-0015 東京都台東区東上野3-3-3)

⁴工修 前田建設工業(株)技術研究所研究第3グループ(〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16)

⁵工修 前田建設工業(株)技術研究所研究第3グループ(〒179-8914 東京都練馬区旭町1-39-16)

岩盤の止水性評価はルジオン値の超過確率分布で行われてきた。ダム建設時に十分な止水性を確保するためにカーテンウォールを構築し、その止水性もルジオン値で評価している。本研究では、ルジオン値の新しい分布形状のモデル化提案し、この分布形状からルジオン値の超過確率を求め、カーテンウォールの効果を評価している。本手法を対象となった2地点に適用し、有効な評価結果を得ている。

Key Words: grouting, Lugeon value, reliability theory, estimation, exceeding probability

1. はじめに

ダム建設では止水工事が不可欠である。止水工事では、岩盤内の透水性を的確に把握することが重要であり、従来より岩盤内の透水性の傾向を把握するために、透水性の確率分布に着目した研究が報告されている^{1),2),3)}。永山ら¹⁾や播田ら²⁾は、透水性の指標であるルジオン値⁴⁾が対数正規分布に従うことを示している。松田ら³⁾は、次数毎のルジオン値分布を示し、その確率分布の平均値および標準偏差が次数増に従い減衰するものと平均値は減衰するか標準偏差は変化しないものの2種類に分類できるとしている。しかし、これらの研究は、いずれも岩盤内の透水性について統計的な処理をするにとどまっており、そこから得られた傾向を利用して岩盤内の透水性の予測解析等を簡便に実施した例は報告されていない。

本研究では、ルジオン値の分布を統計的に処理し、深度方向に対する岩盤の透水性を把握することを試みた。さらに、岩盤を透水性の観点からモデル化し、現在施工されている箇所深の透水性を簡便に逐次予測することを目的としている。

2. ルジオン試験と対象地点

(1)ルジオン試験

本研究での止水工事とはセメントグラウチング⁵⁾である。セメントグラウチングの管理方法は、ルジオン試験

から得られるルジオン値を指標としたものが一般的であり、評価手段としては超過確率による方法が一般的である。ルジオン値とは、岩盤の透水性を評価するものであり、単位ボーリング孔長(1m)あたりに単位注入圧力(0.98MPa)で定常状態で水が注入されているとき、単位時間(1min)あたりに1ℓの注入流量が認められる状態を1Luと定義されている。ルジオン試験は孔長5mで実施されているので、ルジオン値は5mに1つのデータとして得られている。超過確率とは、あるルジオン値以上のデータ数の全データ数に対する割合を示すものである。

(2)対象地点

図-1に本研究での対象地点の概略図(断面図)を示す。対象地点のボーリング孔は調査孔であり、12本である。各ボーリング孔の深度は、225m~280mである。各ボーリング孔間の水平距離は24mであり、対象地点の総断面水平距離は264mである。

以下に対象地点の概要について列挙する。

- ① 対象地点は標高の高い山岳地帯である。
- ② 岩盤の浅部では角礫岩類が主として存在し、深部では安山岩類が主体をなしている。
- ③ 岩級は、ほとんどがCH級となっており、比較的健全な岩盤が多いが、最浅部ではクラッキーな箇所が多数確認された。
- ④ 土被りは、沢部であるため比較的小さく、10m~40m程度である。

表-1 各区分のデータ数

深度	データ数	備考
0~30m	72	モデル化用
30~80m	120	モデル化用
80~130m	120	モデル化用
130~180m	120	モデル化用
180~230m	114	モデル化用
230~280m	90	予測用

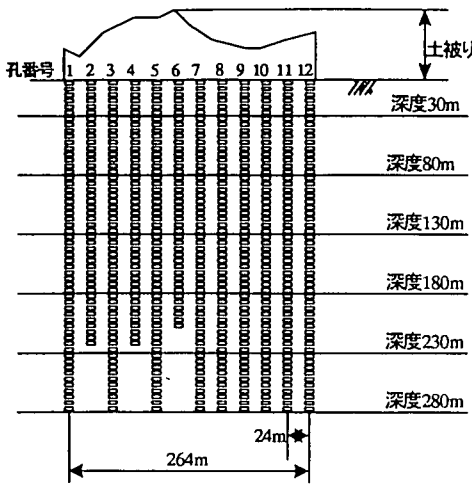


図-1 対象地点の概略図(断面図)

上記の地質等の条件より、対象地点の各深度レベルでは、同様な透水性の傾向を示している。従って、深度方向で、ある大きさを区分すれば対象地点の透水性を表現できると考えた。

3. 対象地盤のルジオン値分布

一般に、ルジオン値は、深度が増大すると小さくなると考えられている⁹⁾。対象地点の深度は最大で280mとなっており、浅部と深部とでは、上記の理由によりルジオン値の傾向が異なると考えられる。すなわち、対象地点の透水性を統計的に取り扱うには深度方向に区分する必要がある。

一般に、統計的な分布を取り扱う場合、土質分野では必要標本数は約25データ以上が必要⁹⁾とされている。本研究では対象を岩盤としているため、ばらつきの程度は土質分野の場合よりも大きくなると考えられる。対象地点での標本数は十分なデータ数として100データ程度とし、深度50mで1区分とした。ただし、対象地点の最浅部(深度0m~30m)は、クラッキーでありルジオン値が大きい箇所が多数あることより1区分とした。すなわち、各区分のデータ数は、表-1のようになる。後述するが、本研究では、深度0m~230mのデータを用いて岩盤内の透水性をモデル化し、深度230m~280mの透水性を予測することを試みている。

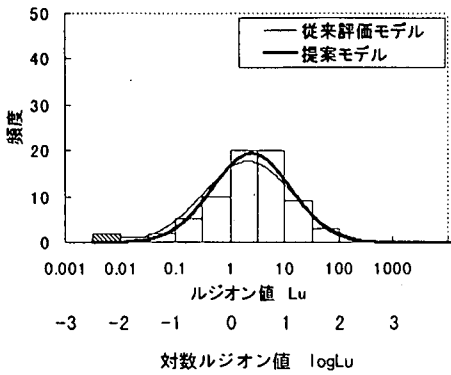
図-2に対象地点の各領域におけるルジオン値の頻度分布を示す。ルジオン値は岩盤内の亀裂幅の増大に伴い、指数的に増大することが一般的に知られている⁹⁾。ここではルジオン値を対数軸で表現しており、対数のルジオン値を「対数ルジオン値(logLu)」としている。同図では、0.01Lu以下を同一の集団として、斜線で表示している。0.01Luとは透水係数に換算すると約 10^7 (cm/s)となる⁹⁾。

透水係数が約 10^7 (cm/s)であることは、粘土質に相当し不透水であることと同等⁹⁾とされていることから0.01Lu以下を不透水性の集団とすることは問題ないと考えられる。同図では、0.01Lu以下の集団が深度増に伴い大きくなっている。つまり、深度が大きくなると対数ルジオン値の分布を正規分布で取り扱うことが困難となることがわかる。これは、全ての対数ルジオン値を同じ母集団として取り扱うと、0.01Lu以下の集団に全体の平均値が大きく左右されるためであり、0.01Lu以下の集団とその他の対数ルジオン値の集団を同じ母集団として取り扱って良いか疑わしいことを示唆している。この問題を解決するために、本研究では、0.01Lu以下の集団を「不透水領域」、その他の対数ルジオン値の集団を「透水領域」と定義し、不透水領域の出現確率、透水領域の分布が正規分布に従うと仮定したときの正規分布曲線に分けて考えるものとした。従って図中では、全ての対数ルジオン値を母集団として正規分布に従うと仮定した曲線を「従来評価モデル」、本研究で提案している曲線を「提案モデル」として示している。提案モデルおよび従来評価モデルの形状と頻度分布の全般的形状とを比較し、仮定した分布が妥当かどうかを誤差の2乗和により検定の考え方から従って解析した⁹⁾。一般に、標本数n個の場合、仮定された分布の誤差の2乗和(検定値G)は、変量k個(対象とするデータの区間個数)の区間に関する観測度数 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_k$ と、仮定された分布から得られる理論度数 $e_1, e_2, e_3, \dots, e_k$ を比較することで算出される。この比較結果の検定値は式(1)で表され、検定値Gが小さいほど頻度分布の全般的特徴を捉えていることを示している。

$$G = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^k (n_i - e_i)^2}{\sum_{i=1}^k n_i}} \quad (1)$$

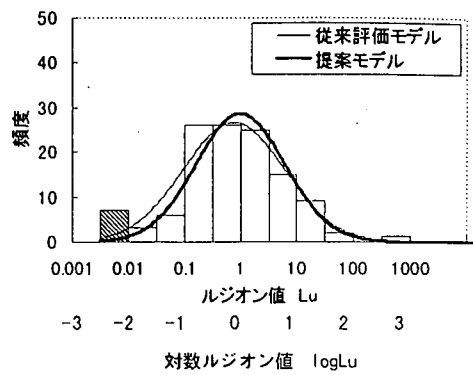
従来評価モデルの検定値を G_0 と定義し、検定領域は全データを用いた。提案モデルの検定値を G_1 と定義し、検定領域は透水領域のみとし、0.01Luを超えるデータのみ

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	0.3255	0.8125
提案モデル	0.3919	0.7197



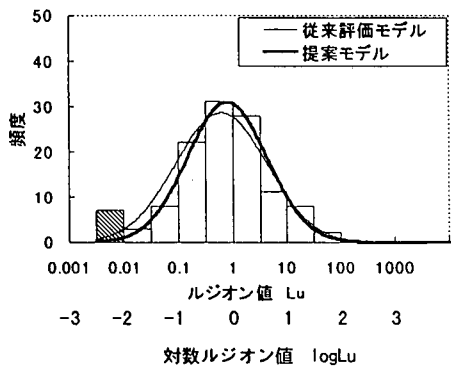
(a) 深度0m~30m

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	-0.1208	0.8973
提案モデル	-0.0044	0.7881



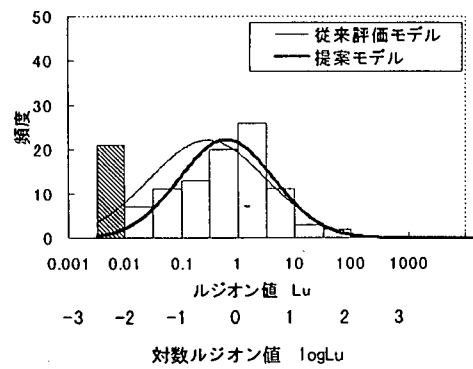
(d) 深度130m~180m

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	-0.2094	0.8374
提案モデル	-0.0985	0.7296



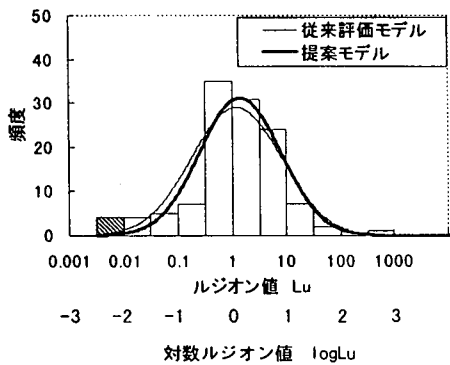
(b) 深度30m~80m

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	-0.5312	1.0278
提案モデル	-0.1995	0.833



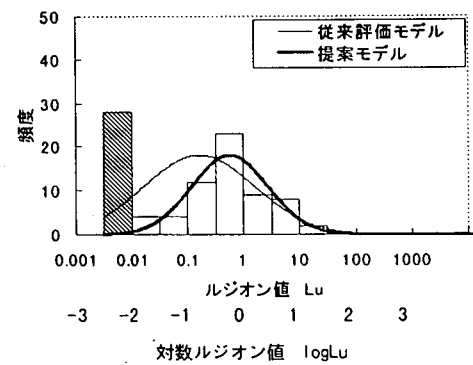
(e) 深度180m~230m

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	0.0768	0.8261
提案モデル	0.1484	0.7422



(c) 深度80m~130m

	$\mu(\log Lu)$	$\sigma(\log Lu)$
従来評価モデル	-0.7917	0.994
提案モデル	-0.246	0.6846



(f) 深度230m~280m

図-2 ルジオン値の頻度分布

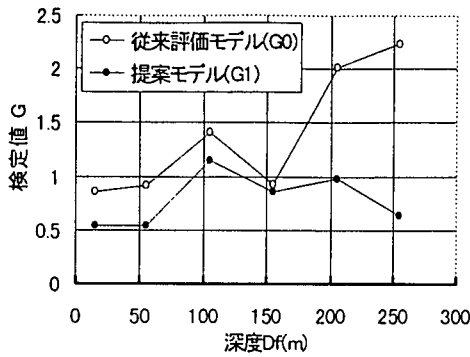


図-3 頻度分布の全般的特徴に対する適合度の比較

を使用した。図-3 に深度方向に対する G_0 および G_1 を示す。図より、深度 150m までは G_0 と G_1 との間に大差はないが、深度 150m 以深になると、 G_0 が G_1 を大きく上回っていることがわかる。つまり、浅部では、提案モデルと従来評価モデルの間に大差はないが、深部では提案モデルが従来評価モデルよりも的確に頻度分布の全般的特徴を捉えていることがわかる。これは、浅部では不透水領域の出現確率が少ないが、深部では大きくなっているためであり、前述の不透水領域の出現確率が母集団の平均値に大きく影響している仮説を裏付けるものである。以上より、岩盤内のルジオン値の分布を的確に把握するためには、不透水領域と透水領域の 2 種類の母集団で岩盤を取り扱う必要があることが明らかとなった。

不透水領域と透水領域の定義をまとめると以下のようになる。図-4 に岩盤内の不透水領域と透水領域の模式図を示す。

(1) 不透水領域

不透水領域とは、岩盤内のインタクトな部分であり、透水性は全く無いに等しい部分である。すなわち、ルジオン値はほぼ $0Lu$ となる。一般に、深度が増加するにしたがって土被り圧が大きくなるため、統計的な亀裂数および亀裂幅は深度増に伴って減少すると考えられる。亀裂数および亀裂幅の減少は不透水部分の増大を意味することから、不透水領域の出現確率は深度増加に伴って増加するものと考えられる。

(2) 透水領域

透水領域は節理の発達した部分であり、透水性はある値を有するものである。すなわち、ルジオン値は、ある値を有しており、節理の発達程度によってその値は異なる。節理は確率的にはランダムに存在すると考えられており¹⁰⁾、それに付随するルジオン値もランダム性を有し

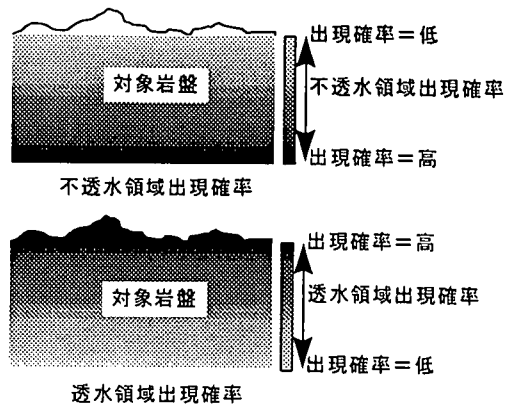


図-4 健全領域と劣化領域の模式図

ていると考えられる。しかし、ある大きな領域での透水性として整理すると、透水領域の対数ルジオン値は正規分布に従う傾向にある。

4. ルジオン値分布の確率論的モデル

(1) 確率論的モデルの数学的意味

ルジオン値の超過確率のモデル化に際し、各パラメータの数学的意味を考える。

不透水領域と透水領域の 2 つの母集団で岩盤をモデル化できるとすると、ある深度 $Df(m)$ での 2 つの母集団は式(2)のように表される。

$$P_H(Df) + P_D(Df) = 1.0 \quad (2)$$

ここで、 $P_H(Df)$ は不透水領域の出現確率であり、 $P_D(Df)$ は透水領域の出現確率である。透水領域の出現確率である $P_D(Df)$ は、式(3)のようにモデル化した

$$P_D(Df) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_D(\log Lu, Df) d \log Lu \quad (3)$$

ここで、 $f_D(\log Lu, Df)$ は、透水領域の分布を示す関数であり、 $\log Lu$ は対数ルジオン値である。 $f_D(\log Lu, Df)$ を対数ルジオン値に対する正規分布と仮定すると、式(4)で表される¹¹⁾。

$$f_D(\log Lu, Df) = \frac{P_D(Df)}{\sqrt{2\pi\sigma \cdot \log Lu}} \exp \left[-\frac{1}{2} \left(\frac{\log Lu - \mu}{\sigma} \right)^2 \right] \quad (4)$$

ここで、 μ は透水領域の対数ルジオン値の平均値、 σ は透水領域の対数ルジオン値の標準偏差である。

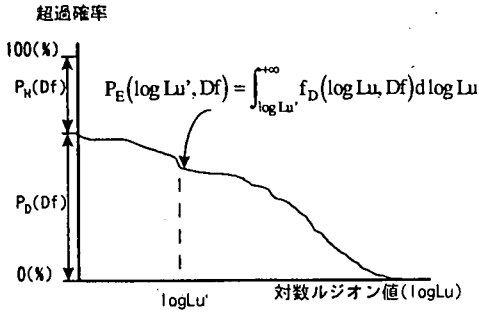


図-5 提案モデルでの超過確率図

ある対数ルジオン値(logLu')での超過確率 $P_E(\log Lu', Df)$ は式(5)で表される。

$$P_E(\log Lu', Df) = \int_{\log Lu'}^{+\infty} f_D(\log Lu, Df) d \log Lu \quad (5)$$

ルジオン値超過確率を提案モデルの式で説明すると図-5 のようになる。

(2)各パラメータのモデル化

$P_H(Df)$, μ , σ を深度方向に対する確率論的モデルとし、対象地点での超過確率のモデル化を実施した。

a)不透水領域出現確率 $P_H(Df)$ のモデル化

図-6 に深度方向に対する不透水領域出現確率を示す。 $P_H(Df)$ は、深度の増加に伴って、土被り圧の影響により増大するものと考えられるが、ある深度以深では、土被りの影響が小さくなり、極めて深い深度では $P_H(+\infty)=100(\%)$ に漸近するものと考えられる。上記の考え方により深度方向に対する $P_H(Df)$ は、ロジスティック・カーブ(成長曲線)に従うと考えられる。しかし、図-6 に見られるように、ロジスティック・カーブの最終成長停滞部までのデータが得られていないことを考慮し、便宜的に式(6)に示す指数関数で近似した。

$$P_H(Df) = a_0 \exp(b_0(Df)) \quad (6)$$

ただし、 a_0 , b_0 は定数である。
本研究で採用した式(6)の誤差 α を式(7)で定義する。

$$\alpha = P_H(Df) - P_H'(Df) \quad (7)$$

ここで、 $P_H'(Df)$ は実測値での不透水領域の出現確率である。 $P_H(Df)$ の深度方向での誤差 α を図-7 に示す。誤差は、全てのデータで $\pm 5\%$ 程度以内であり、本研究で提案

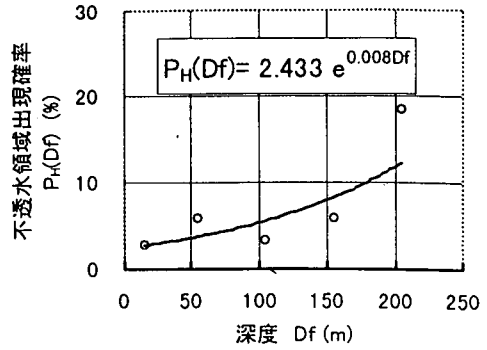


図-6 各深度別の不透水領域出現確率

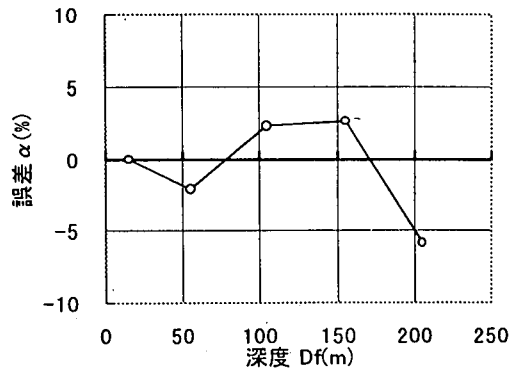


図-7 不透水領域出現確率のモデル化の誤差

しているモデルでは $P_H(Df)$ は $\pm 5\%$ 以内の誤差で近似できる。

b)透水領域の対数ルジオン値の平均値(μ)のモデル化

図-8 に深度方向に対する透水領域の対数ルジオン値の平均値(μ)を示す。同図より μ は深度に対し、ほぼ線形に変化する傾向が読みとれる。この傾向は、深度増加に伴って平均的な亀裂幅が減少していることを裏付けていると考えられる。

本研究では、深度方向に対する μ は式(8)に示す一次関数で近似できるものとした。

$$\mu = c_0 Df + d_0 \quad (8)$$

ただし、 c_0 , d_0 は定数である。
実測値とモデル化された値との誤差 β を式(9)で定義し、式(8)のモデル化の誤差について検証した。誤差 β は、対数ルジオン値での誤差を平均値周りで通常のルジオン値での誤差に換算したものである。

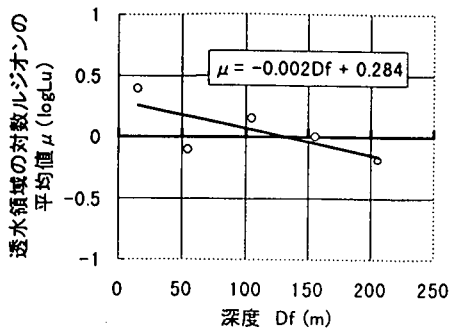


図-8 各深度別の透水領域の対数ルジオン値の平均値

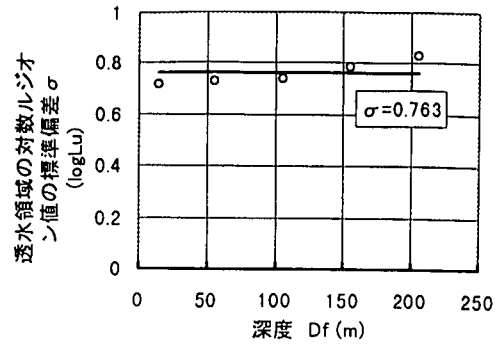


図-10 各深度別の透水領域の対数ルジオン値の標準偏差

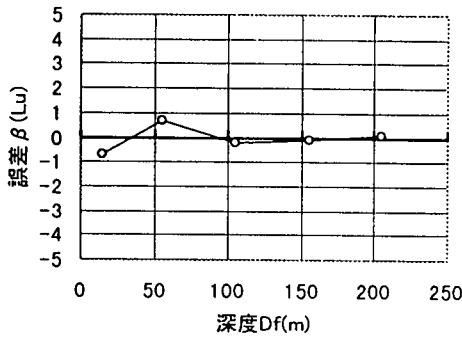


図-9 透水領域の対数ルジオン値の平均値のモデル化の誤差

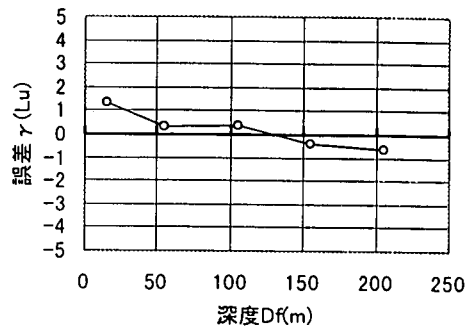


図-11 透水領域の対数ルジオン値の標準偏差のモデル化の誤差

$$\beta = 10^{\mu} - 10^{\mu'} \quad (9)$$

ただし、 μ' は実測値での透水領域の対数ルジオン値の平均値である。各深度での誤差 β を図-9に示す。対象地点での μ' の平均値は、ルジオン値に換算すると1.1Luとなる。つまり、誤差 β は、約1Lu周辺での誤差としてのルジオン値を示している。図より誤差 β は約 $\pm 0.5Lu$ 以内に収まっていることがわかり、 μ は約 $\pm 0.5Lu$ 以内の誤差でモデル化できることがわかる。

c) 透水領域の対数ルジオン値の標準偏差(σ)のモデル化

図-10に深度方向に対する透水領域の対数ルジオン値の標準偏差(σ)を示す。図-10より σ は深度に関係なく、一定となる傾向がある。このことは、節理の発生確率のランダム性に起因すると考えられ、節理が存在する場合には深度に関係なく σ はある一定のばらつきを有していると考えられる。本研究では、透水領域の対数ルジオン値の標準偏差は一定値であると考えた。

σ の誤差 γ を式(10)で定義する。誤差 γ は、対数ルジオン値での誤差を平均値周りでの通常のルジオン値での誤差に換算したものである。

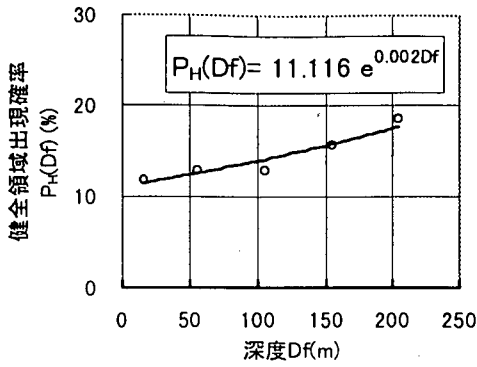
$$\gamma = 10^{\mu + \sigma} - 10^{\mu + \sigma'} \quad (10)$$

ただし、 σ' は実測値での透水領域の対数ルジオン値の標準偏差である。各深度での誤差 γ を図-11に示す。 $\mu + \sigma$ の平均値は7.1Luであることから、誤差 γ は約7Lu周辺での誤差を示している。図より誤差は約 $\pm 1Lu$ 以内に収まっており、 σ は約 $\pm 1Lu$ 以内の誤差で近似できると考えられる。

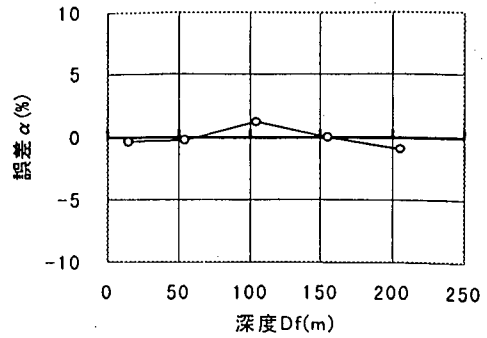
d) 他地点との比較

a)~c)でのモデル化が一般性を持つかどうかを検討するために、他地点での結果との比較を行った。比較地点は本論文での対象地点に隣接する地点であり、地質は角礫岩類および安山岩類が主体で、岩級はほとんどがCH級であった。

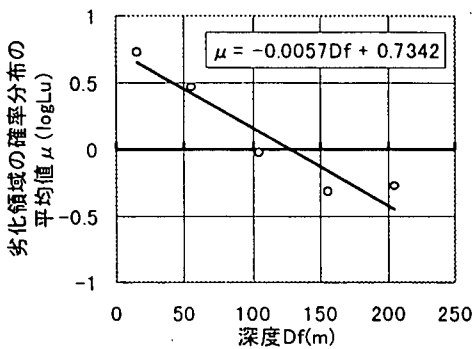
比較地点での同様な整理方法によるモデル化を行った結果を図-12に示す。同図よりいずれのパラメータもa)~c)でのモデル化と同様な傾向を有しており、本研究で提案したモデル化が一般性を持ったものであることがわかる。つまり、 $P_H(Df)$ は指数近似、 μ は一次近似、 σ は定数近似ができることがわかる。それぞれのパラメータ



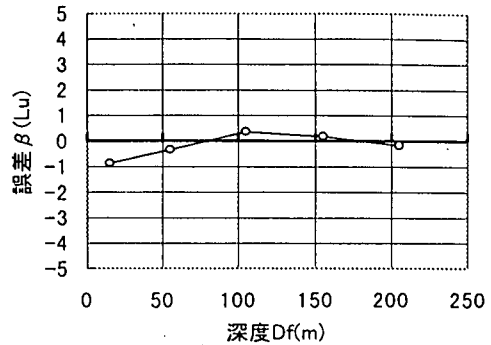
(a) $P_H(Df)$ のモデル化



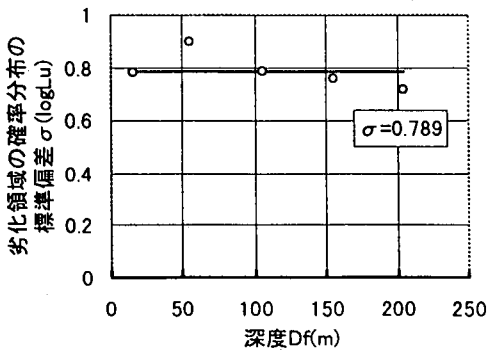
(a) $P_H(Df)$ の誤差



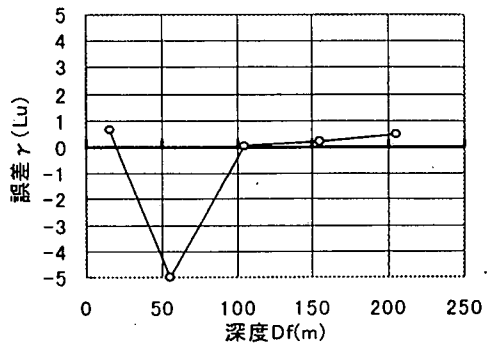
(b) μ のモデル化



(b) μ の誤差



(c) σ のモデル化



(c) σ の誤差

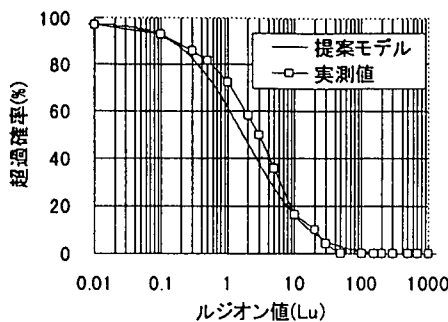
図-12 他地点でのモデル化

図-13 他地点でのモデル化の誤差

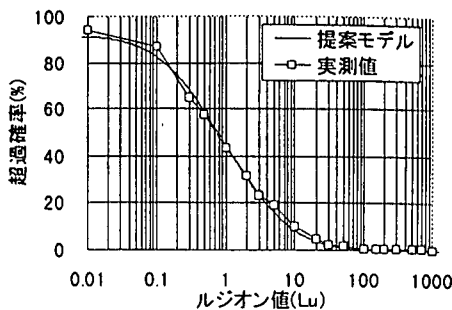
の誤差について対象地点のデータと同様な整理をしたものを図-13に示す。同図より $P_H(Df)$, σ は、対象地点と同程度の誤差であることがわかる。 σ は深度60m程度で誤差が5Luとなっているが、その他の部分では極めて少ない誤差となっている。深度60m付近では、ばらつき程度が局所的に大きくなっていることから、深度60m付近は、他の部分と傾向の異なる部分であると考えられる。

(3) 超過確率のモデル化

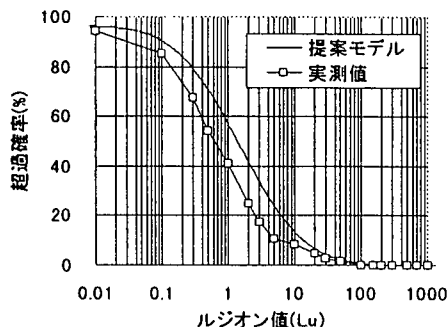
(2)の検討より $P_H(Df)$, μ , σ を近似することが可能となった。本節では、実際に式(6), 式(8), 式(10)の各定数を算出した。算出結果を表-2に示す。求められた各定数を用いてルジオン値の超過確率をモデル化し、図-14および図-15に示す。図中には実測値から算出された超過確率も併せて示す。モデル化ではDfは各領域の深度の中央値を採用した。



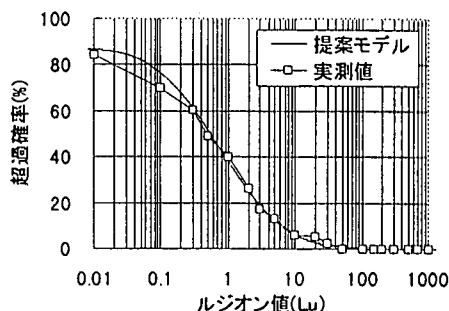
(a) 深度 0m~30m



(d) 深度 130m~180m

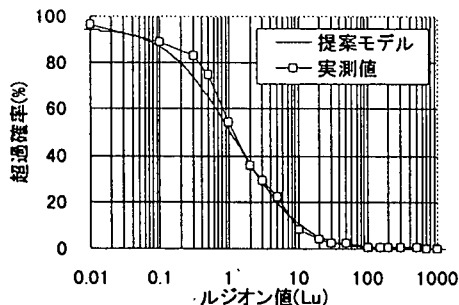


(b) 深度 30m~80m



(e) 深度 180m~230m

図-15 モデル化された超過確率(その2)



(c) 深度 80m~130m

図-14 モデル化された超過確率(その1)

表-2 各パラメータの定数

項目	算出結果
$P_H(Df)$	$a_0=2.433$ $b_0=0.008$
μ	$c_0=-0.002$ $d_0=0.284$
σ	constant=0.763

2Lu 超過確率の比較を示す。図より浅部では提案モデルおよび従来評価モデルと実測値との間に多少のばらつきがあるが、深度が増加するにしたがって誤差が無くなっていることがわかる。従来評価モデルは、浅部では提案モデルとほぼ等しい値を示しているが、深度が大きくなるにしたがって提案モデルよりも小さくなる傾向にある。提案モデルは約 100m 以深では実測値とほぼ等しい値を示しており、提案モデルが妥当であることを示していると考えられる。

5. ルジオン値超過確率の予測

4. でのルジオン値の超過確率のモデルを考慮し、モデル化した領域以深での超過確率がどのようになるかの予測を実施した。モデル化の定数等は表-2 に示した値を用いた。式(6)、式(8)、式(10)にそれぞれモデル化された

(4)モデル化された超過確率の検証

モデル化された超過確率が、どの程度妥当なものかを検討するために、2Lu 超過確率での検証を行った。2Lu 超過確率とは、2Lu を越えるデータ数が全データ数に占める割合を示したものである。2Lu とは、透水係数に換算すると約 $2 \times 10^{-6}(\text{cm/s})$ となり、ダム貯水池からの漏水量としては無視できない値の下限値となっている²⁾。つまり、2Lu 超過確率の値が精度良くモデル化出来ていれば、セメントグラウチングの施工では実用上の問題は無いと考えられる。

図-16 に提案モデル、従来評価モデルおよび実測値の

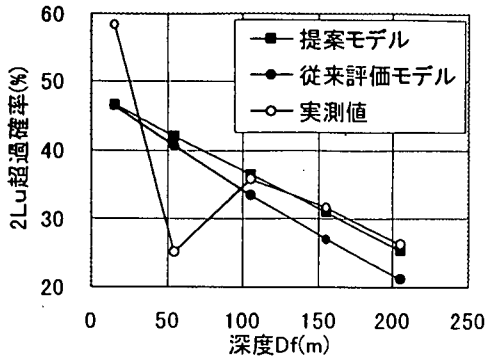


図-16 2Lu 超過確率図

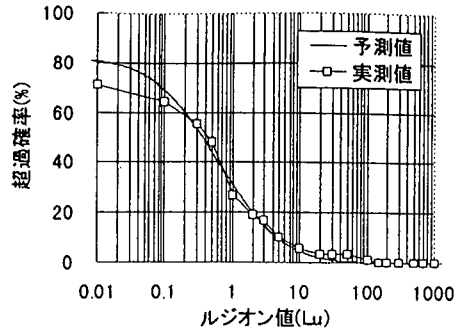


図-17 超過確率の予測(深度 230m~280m)

定数を与え、深度 Df は 230m~280m での予測とし、その中央値 255m を代入した。その結果、図-17 の超過確率の分布を得た。この超過確率の分布の意味は、深度 0m~230m までのルジオン値の傾向からそれ以深の深部でのルジオン値が同様な傾向を有すると仮定した場合のルジオン値超過確率を深度 230m~280m で予測したものである。図中には、予測値と併せて実測値の曲線も示す。図より、予測値と実測値の曲線が極めて高い整合性を持っていることがわかる。

本予測値がどの程度妥当なものかを検討するため、前述した 2Lu 超過確率での検証を実施した。表-3 に深度 230m~280m での予測値と実測値の比較表を示す。予測では、2Lu 超過確率で約 1% 程度の誤差しか含まれず、極めて精度良く予測できたことがわかる。

6. まとめ

本研究では、ルジオン値の分布を的確に捉えることを試みた。ルジオン値の分布が的確に把握できれば、未施工部分の透水性を予測できると考え、深部でのルジオン値の分布を予測することも試みた。以下に、本研究で得られた知見をまとめる。

- (1) 透水領域、不透水領域という考え方を取り入れることで岩盤のルジオン値超過確率のモデル化が可能となった。
- (2) 不透水領域の出現確率は深度の増大とともに大きくなる。透水領域の対数ルジオン値の平均値は深度方向に対して線形に変化し一次関数で近似でき、透水領域の対数ルジオン値の標準偏差は深度にほぼ関係なくある一定値を示すことがわかった。
- (3) モデル化された超過確率を用いて未施工の部分での超過確率の予測が可能となり、予測した超過確率は実測値とほぼ整合していることがわかった。

今まで、ルジオン値の分布を統計的に取り扱うことを試

表-3 2Lu 超過確率での検証

	予測値	実測値	誤差(予測値-実測値)
2Lu 超過確率	20.1 %	18.9 %	1.2 %

みた研究事例は多数あるが、本研究のような簡便な予測まで実施した例は報告されていない。本研究でのルジオン値の分布の予測は比較的簡便に実施できるため、実施工の現場での適用も簡単である。本研究で予測可能となるルジオン値の分布は調査孔の削孔時におおよその目標施工深度を決定する際にも有効である。今後は、地質調査孔だけでなく、一般孔でのルジオン値分布のモデル化も目指すつもりである。

参考文献

- 1) 永山功, 吉永格文: ダム基礎岩盤のグラウチング特性に関する一考察(亀裂性岩盤を例に), 第16回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.310-314, 1984.
- 2) 播田一雄, 田淵弘, 浅津直樹, 古川浩平, 中川浩二, ダムの止水グラウチングに関する一考察, 第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集, pp.101-105, 1989.
- 3) 松田達, 竹林征三, 田村徳郎: ダム基礎岩盤の透水特性とグラウチング効果の評価について, 大ダム No.95, pp.30-51, 1981.3.
- 4) 建設省河川局開発課監修: ルジオンテスト技術指針・同解説 (財) 国土開発技術研究センター, 1984.
- 5) 寺戸康隆: ダム基礎グラウチング(Ⅰ)~(Ⅸ), ダム日本, No.443 ~452, 1981.9.~1982.6.
- 6) 土質基礎の信頼性設計編集委員会: 土質基礎の信頼性設計, (社)土質工学会, pp.60-63, 1985.8.
- 7) Zagner, C.: Theory and Problems of Water Percolation Engineering Monograph, No.8, U.S.B.R. Apr., 1953.
- 8) 最上武雄監修, 久保田敬一, 河野伊一郎, 宇野尚雄: 透水一設計へのアプローチ, 鹿島出版会, 1976.
- 9) 伊藤 學, 亀田 弘行: 土木・建築のための確率・統計の基礎, 丸善株式会社, pp.270-274, 1977.6.

10) 菊池宏吉, 水戸義忠, 三室俊昭: 節理性岩盤のモデル化と浸透流解析に関する研究, 電力土木, No.242, 1992.11.

11) 裏西久男, 加納省吾, 河野和正, 瀬口常民: 統計解析入門, 廣川書店, pp.63-75, 1963.

12) 例えば 佐藤則夫, 生形健司, 林賢司: 塩沢ダムの設計・施工について, ダム日本, No.614, pp.31-48, 1995.12.

(1998. 2. 24 受付)

A STUDY ON MODELING THE DISTRIBUTION OF LUGEON VALUES IN ROCK MASS

Norio KAINUMA, Noboru YASUDA, Manabu MATSUSHIMA,
Kenichi KANTOU and Naoto YOSHINO

Water tightness of rock mass has been evaluated by the exceeding probability of Lugeon values. While constructing a dam, a curtain wall is often constructed to ensure the water tightness and the tightness is measured by the Lugeon values. This paper proposes a modeling of new Lugeon values distribution and evaluates the effectiveness of curtain wall from the exceeding probability of Lugeon values distribution proposed herein. The evaluation method described above is utilized to two target sites and successful results are obtained.