【土木学会論文集　第405号／Ⅱ-11（討議・回答）1989年5月】

高瀬　信忠
宇治橋康行 共 著
小川　正宏

“最大水文量発生の確率的評価についての考察”への討議・回答

（土木学会論文集，第393号／Ⅱ-9（ノート）1988年5月掲載）

▶討議者（*Discussion*）——合　田　良　実（横浜国立大学）
By Yoshimi GODA

最近は，個々の現象に対する研究が進展して設計計算が精密に行えるようになってきた．それとともに，設計外力の選定のあり方についての議論が深められつつある．今回ご発表になられたノートも，そうした検討の1つとして貴重なものと拝察する次第である．討議者もこの問題に関心をもつ一人として数値計算結果を発表[9]しているので，紙面をお借りして若干の私見を述べさせて頂きたい．ご意見を頂戴できればまことに幸いである．

（1）τ 年確率水文量と τ 年最大値の最頻値の関係

ご研究の結論の1つは，年最大水文量が対数正規分布に従う場合，τ 年間中の最大水文量の最頻値は $T=\tau$ の再現期間に対する確率水文量にほぼ等しいということとお見受けする．

波浪統計で用いられるワイブル分布の場合は，文献9)の式(131)を書き直すことにより次のように表わされる．

$$X_\tau^*=x_\tau\left[1+\frac{1-1/k}{(\ln\tau)^2}\right]^{1/k}\cdots\cdots(8)$$

ただし，ワイブル分布の分布関数は次のようなものであり，k は形状母数，A は尺度母数，B は位置母数である．

$$F[x]=1-\exp\{-[(x-A)/B]^k\}\cdots\cdots(9)$$

形状母数が $k=1$（指数分布）であれば τ 年確率水文量と τ 年最大値の最頻値とが等しく，$k>1$ であれば後者の方がやや大きくなる．ただし，分布形状が対数正規分布と類似している $k=2$ の場合でも $\tau=30$ 年で2.2％，$\tau=200$ 年で0.9％程度の差である．

また，強風の統計[10]でしばしば用いられる極値Ⅱ型分布については簡単な計算によって，次のような関係式を導くことができる．

$$X_\tau^*\doteqdot x_\tau\left[\frac{k}{(k+1)}\left(1+\frac{1}{2\tau}\right)\right]^{1/k}\cdots\cdots(10)$$

極値Ⅱ型分布は極値Ⅰ型分布（ガンベル分布）よりも分布の裾が広いので，τ 年確率水文量の方が τ 年最大値の最頻値よりもやや大きいことになる．その差は $k=5$ の場合で $\tau=30$ 年として3.3％程度ほどである．

対数正規分布について計算された表—2の結果では，両者の大小関係は地点によって異なっている．しかし，その差は3％以下であり，ワイブル分布や極値Ⅱ型分布の場合と同程度である．したがって，τ 年確率水文量が τ 年最大値の最頻値とほぼ等しいことは，実用に供される極値分布の大半について成立すると思われる．

（2）遭遇確率について

著者たちは，「治水構造物に対する外力となる計画水文量について，再現期間を耐用年数と考えることなど構造物の安全性という面からみて，検討すべき余地も残されている」としている．これは再現期間を供用年数に等しくとるのが当然と考えられているのであるならば問題であるけれども，実務上は Borgman[11]の提唱した遭遇確率を意識しながら設計外力を選定しているのではなかろうか．周知のように，再現期間を供用年数と同一にとると，確率計算上は構造物の供用期間内に設計外力を上回る外力に遭遇する危険率がほぼ63％あることになる．ただし，設計外力の再現期間を構造物の供用年数の何倍にとるべきかについては必ずしも十分に検討されていない．構造物の種類ごとに再現期間の幅がおおまかに合意されているのが現状ではないかと思われる．

（3）信頼性設計法との関係

設計外力の再現期間を遭遇確率を考慮して定める方式は，Borgman が提唱してからすでに25年になるけれどもいまだ一般に定着したとはいいがたい．その大きな理由は遭遇確率として用いるべき値についての合意が得にくいことである．特に公共土木施設の場合には，被災の危険率をあからさまにすることをはばかる傾向があり，遭遇確率についての議論が不活発である．

同じ確率の議論であっても，信頼性設計法（たとえば文献10)，12)，13）など）の場合には，他の要因と総合したうえで議論するので一般に受け入れられやすいようである．周知のように，信頼性設計法では供用期間 τ 年中の最大外力の母集団平均値を基本とする．ガンベル

分布であれば，この τ 年最大値の平均値はその再現期間が1.78 τ であり，最頻値よりもかなり大きな値である．さらに，この τ 年最大値の標準偏差を考慮し，変動係数の形で他の要因と組み合わせている．水文量の極値統計の活用に際しても，こうした信頼性設計法のアプローチが必要なのではなかろうか．

（4） 1標本に基づく分布関数の推定誤差の問題

水文統計に限らず，極値を対象とする統計問題では常に標本の抽出誤差を考慮する必要がある．たかだか100個程度のデータからなる1標本が母集団を忠実に代表していると考えることは無理であり，標本の抽出誤差に基づく偏りがあると考えるべきであろう．したがって，対象とする標本に最も適合するように対数正規分布，ガンベル分布その他をあてはめたとしても，それが母集団の分布関数からずれている可能性がかなりある．このため，再現期間 τ 年に対する水文量を推定した場合にも，標本抽出の変動性に起因する推定誤差を伴っていると考えるべきである．前項に述べた τ 年最大値の変動係数として一般に考えられているのは，分布関数が確定しているときの値である．本来は，分布関数の不確定性に基づく変動係数も併せて考える必要がある．

討議者はこの問題について適切な既往の研究をみつけることができないまま，モンテカルロ法による数値実験によって推定誤差の実験式を作成したが[9),14)]，関連研究等についてご教示頂ければ幸甚である．

参 考 文 献

9） 合田良実：極値統計におけるプロッティング公式ならびに推定値の信頼区間に関する数値的検討，港湾技術研究所報告，第27巻，第1号，pp.31～92，1988.

10） 藤野陽三ほか：年最大風速記録による設計基本風速の算定に関する研究，土木学会論文報告集，第305号，pp.23～34，1975.

11） Borgman, L.E.：Risk criteria, J. Wat. & Harb. Div., Proc. ASCE, Vol.89, No.WW 3, pp.1～35, 1963.

12） Ravindra, M.K. et al.：Wind and snow load factors in LRFD, J. Str. Div., Proc. ASCE, Vol.104, No.ST 9, pp.1443～1457, 1978.

13） 白石 悟・上田 茂：港湾構造物及び海洋構造物の安全性照査に関する検討—作用荷重の変動係数と荷重係数の算定，港湾技術研究所報告，第26巻，第2号，pp.493～576，1987.

14） 合田良実：波浪統計における確率波高の信頼区間，第35回海岸工学講演会論文集，1988.

（1988.8.22・受付）

▶回答者（*Closure*）——高瀬 信忠・宇治橋康行（金沢大学）・小川 正宏（労働省）

By Nobutada TAKASE, Yasuyuki UJIHASHI and Masahiro OGAWA

はじめに，著者らの論文に対して大変有益なご討議をいただき，有難く感謝しています．

公共土木施設に対する設計外力ともなる水文事象は，不確定性の非常に強い自然現象であるため，ご指摘のようにいろいろの検討すべき問題点が残されていますが，懇切ご丁寧に述べられたご意見どおりで著者らも同感です．しかし，この問題に関しては討議者がご希望されているような関連研究等について，残念ながら著者らもわからないのが現状です．なお，著者らも「極値統計資料の変動性について」興味をもち，研究していますので，今後ともどうぞよろしくご指導のほど，お願い申し上げます．

（1989.3.15・受付）