耐久性設計のための北陸地方の気象履歴評価

新潟大学　佐伯竜彦

１．はじめに

コンクリート構造物に適切な耐久性を付与するには，地域の気象を考慮した耐久性設計を行う必要があり，そのためには気象履歴を適切に反映した設計値が必要である．

本研究は，前年度に研究助成を受けた「耐久性設計のための北陸地方の気象評価」をベースとして，それを発展させたものである．

具体的には，用いた気象データを AMeDAS データから MSM（メソ数値予報モデル）データに変更した．AMeDAS の観測点間隔がおおよそ 20km であるのに対して，MSM では 5km メッシュでデータがあるため，より高い空間解像度での検討が可能である．さらに，降雨を対象として，その履歴を評価してモデル化を行った．前年度は，降雨履歴を定常ポアソン過程と仮定してモデル化を行ったが，今年度は非定常ポアソン過程によりモデル化した．

２．対象地域及び使用データ

本研究では，北陸地方整備局管内のうち新潟県，富山県，石川県の三県を対象とした．また，MSM を用いて取得した気象データを使用することとした．MSM は 5 kmの格子間隔でデータを取得することができ，対象地域の観測地点は図 1 の通りである．取得した気象データは，MSM 取得地点における 1 時間ごとの降雨量である．データ取得期間は，2010 年 1 月 1 日～2020 年 12 月 31 日の 10 年間である．

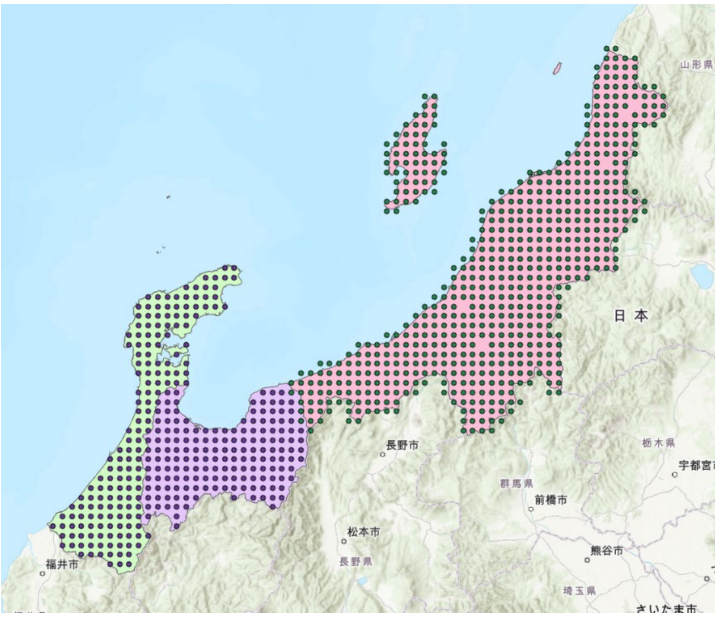


図 1　取得した MSM 地点所在地

３．降雨の統計処理

乾湿繰り返し履歴の取得地点ごとの特徴を把握するため，MSM 取得地点ごとの降雨パターンの作成を行った．実際の降雨の特徴から 1 年を 3,4,5 月，6,7 月，8,9,10 月，11,12,1,2 月の 4 つの期間に分けた．

本研究では，コンクリートの乾湿状態の各継続時間の確率密度関数について，式(1)で示した非定常ポアソン過程の確率密度関数を用いた．

$$p_{[0,T]}(t_n) = \prod_{i=1}^{n} \lambda(t_i) \times \exp\left[-\int_0^T \lambda(t)dt\right] \quad \cdots\cdots \quad (1)$$

ここで，$p_{[0,T]}(t_n)$:非定常ポアソン過程の確率密度関数，n:イベント数，$\lambda(t)$:強度関数，T:期間となる．

強度関数$\lambda(t)$については，式(2)及び式(3)で示した Hawkes 過程の強度関数を用いた．Hawkes 過程は，あるイベントの発生が後続のイベント発生を引き起こす性質を持ち，短時間のうちに複数のイベントが連続して発生しやすいという特徴がある．Hawkes 過程の強度関数を用いることで実気象の降雨の連続性をより忠実に再現できる可能性があると考えた．

$$\lambda(t) = \mu + \sum_{t_i<t} g(t - t_i) \quad \cdots\cdots \quad (2)$$

$$g(\tau) = ab\exp(-b\tau) \quad \cdots\cdots \quad (3)$$

ここで，$\lambda(t)$:強度，μ:イベントのベースの発生率，$g(\tau)$:カーネル関数，a, b:定数となる．

式(1)に式(2)及び式(3)を代入することで，本研究で用いる確率密度関数は式(4)で示される．

$$p_{[0,T]}(t_n) = \prod_{i=1}^{n}\left[\mu + \sum_{j<i} g(t_i - t_j)\right] \times \exp\left[-\mu T - \sum_{i=1}^{n}\int_{t_i}^{T} g(s - t_i)ds\right] \quad \cdots\cdots \quad (4)$$

本研究において，μは降雨のベースの発生率を，a及びbは，それぞれ降雨発生時の強度λの上昇率及び減衰率を表している．大まかにいえば，μの値が大きいほど降雨が発生しやすく，aの値が大きいほど一度の降雨が継続しやすく，bの値が大きいほど降雨が終了しやす

いことを表す．このことから，各地点の降雨の特徴はμ及びa, bの 3 つのパラメータの値によって表される．各地点において，4 つの期間のパラメータの値を実気象の降雨履歴を用いて勾配法により算出した．

求めたパラメータの妥当性を確認するため，モデルパラメータから計算される降雨発生回数の期待値と実際の降雨回数を比較した．結果を表 1 に示す．降雨回数の期待値は式 (5) から計算される．

$$E = \frac{\mu T}{1 - a} \qquad \cdots\cdots \quad (5)$$

ここで，E:イベント発生回数の期待値，T:観測期間となる．

どの地点でも実気象と期待値はほぼ一致しており，カーネル関数の選択とパラメータの同定が適切であったと考えられる．

表 1　各地点における 11～2 月の降雨発生回数の観測値と期待値

地点		実気象(2020年)	期待値E
新潟県	新潟市	198	191.2
	村上市	352	348.2
	妙高市	342	336.7
富山県	富山市	189	177.8
	朝日市	337	332.1
石川県	金沢市	440	444.6
	珠洲市	197	192.3

各地点における強度関数パラメータ（μ及びa, b）の算出結果の例を以下に示す．図2～4は11～2月のパラメータを示したものである．

新潟県新潟市に着目すると，比較的降雨が発生しにくく，降り出しても継続しにくいことがわかる．また，新潟県の上越地方と下越地方を比較すると，両地域とも降雨は発生しやすいが，上越地方では一度の降雨が継続しやすいのに対し，下越地方は一度の降雨が長く続かない傾向が読み取れる．さらに，三県の沿岸部と内陸部で比較すると，沿岸部では降雨が継続しにくく，内陸部では降り続きやすい特徴があることがわかった．

また，図5～7は 6, 7月の新潟県のパラメータ算出結果である．降雨の発生しやすさは大部分の地点で 11～2 月の結果と同じ傾向が見られるが，下越地方においては冬季の降雨が発生しやすいが梅雨の時期はあまり発生しないことが読み取れる．さらに，降雨の継続しやすさ及び終了しやすさについては，同一地点でも 11～2 月は継続しやすいが 6, 7 月は継続しにくいというように，各地点において冬季と梅雨時期でほぼ反対の特徴を示していることがわかった．

このように，強度関数の 3 つのパラメータから各地点における時期別の降雨の特徴や傾向を把握することができた．

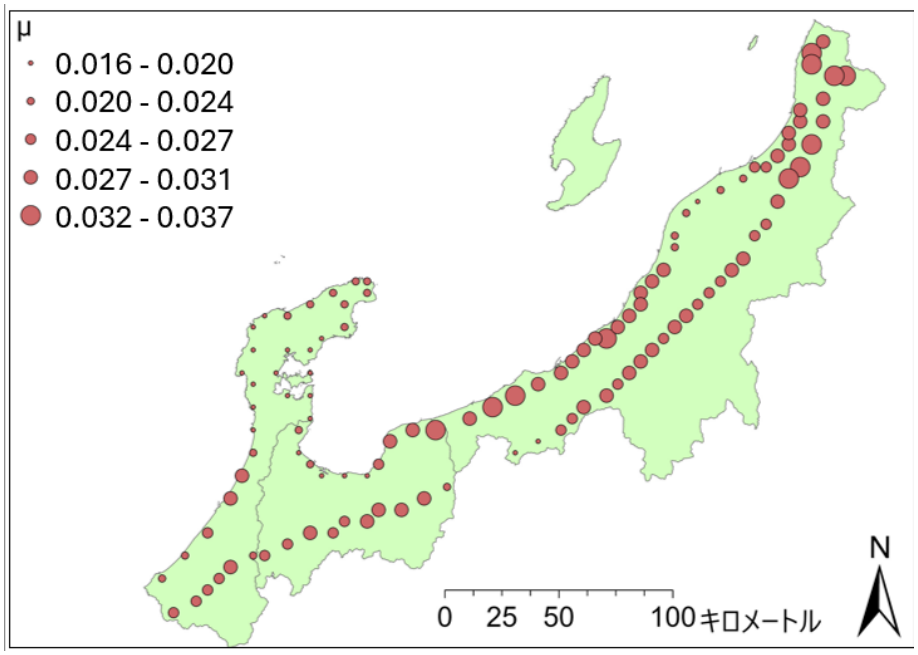


図2　各地点における11～2月のパラメータμの算出結果

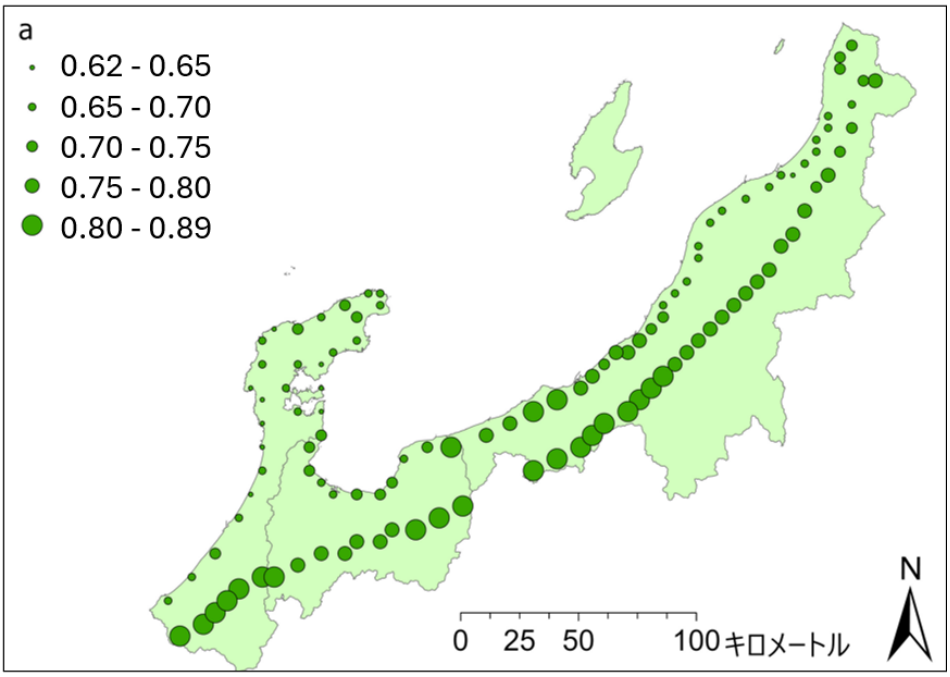


図 3　各地点における 11～2 月のパラメータaの算出結果

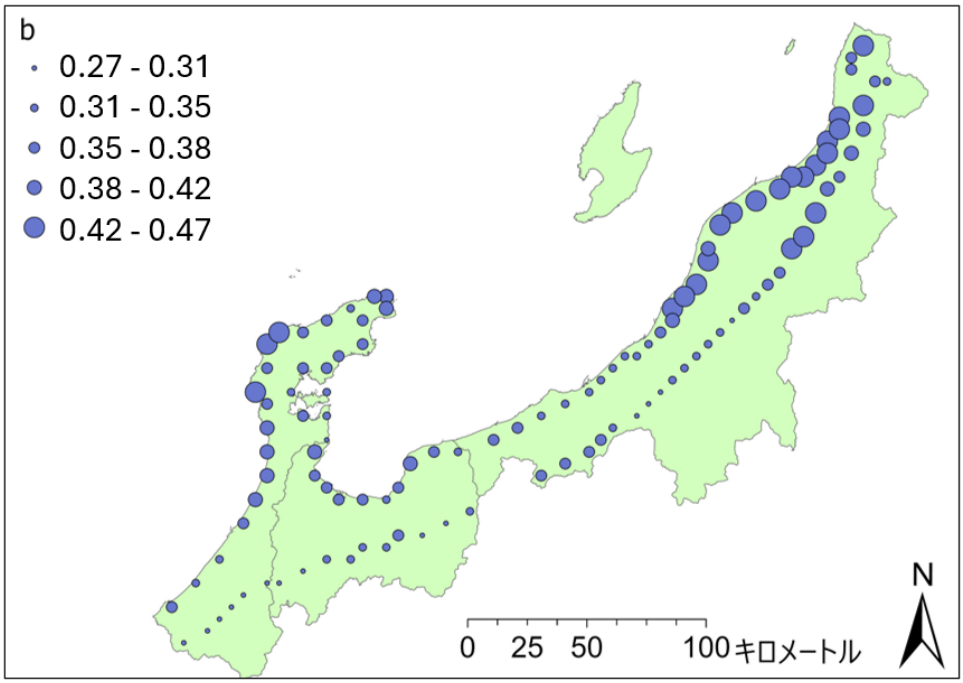


図 4　各地点における 11～2 月のパラメータbの算出結果

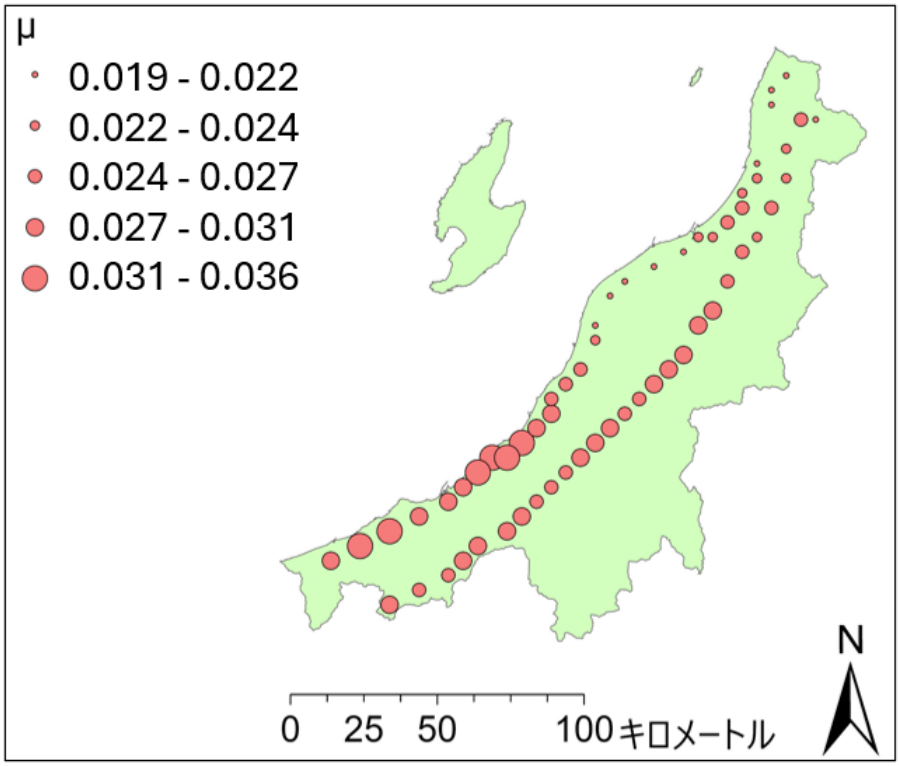


図 5　各地点における 6, 7 月のパラメータμの算出結果

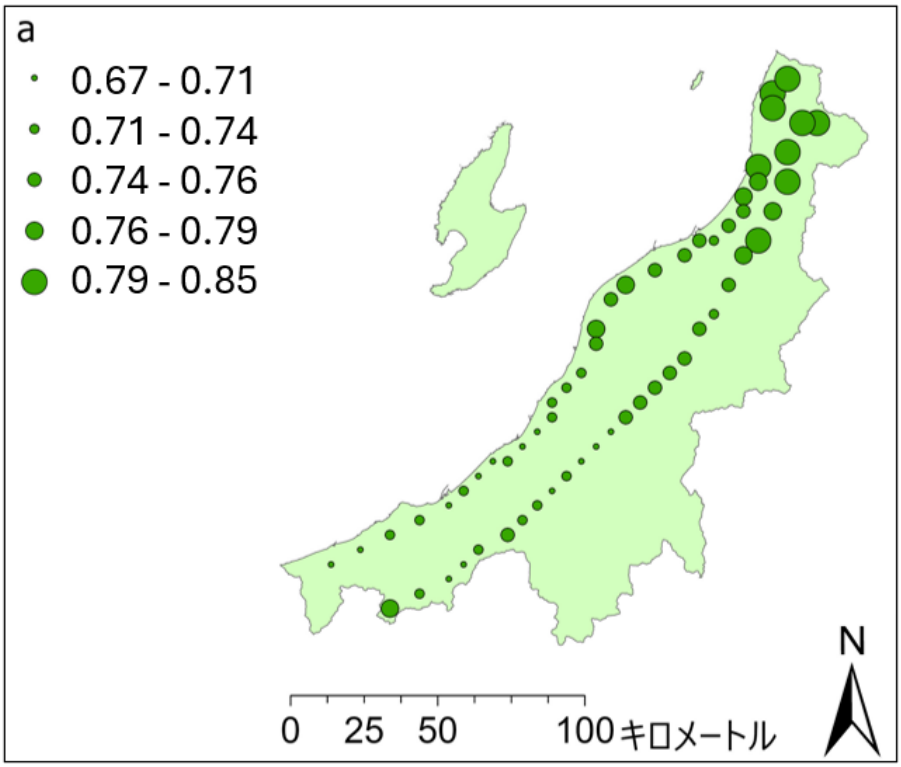


図 6　各地点における 6, 7 月のパラメータaの算出結果

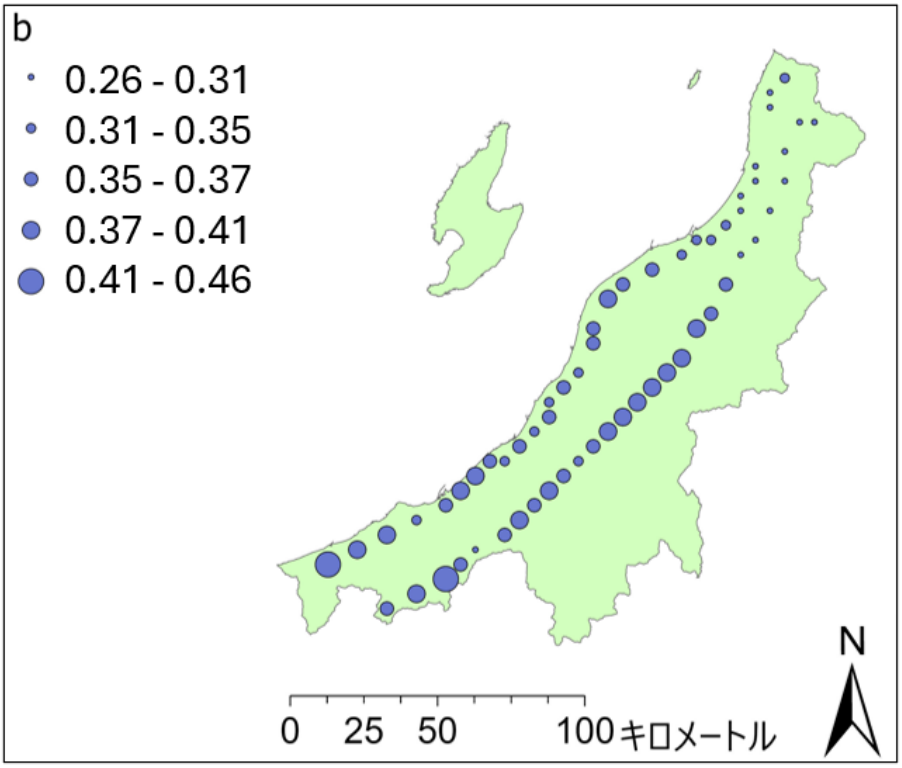
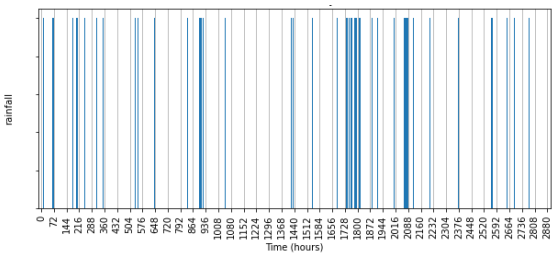


図７　各地点における 6, 7 月のパラメータbの算出結果

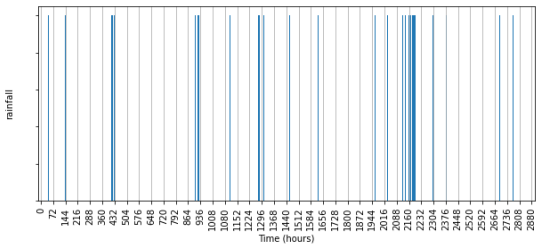
４．降雨シミュレーション

３．で算出したパラメータを用いて降雨履歴のシミュレーションを行い，各地点の降雨パターンをランダムに生成した．

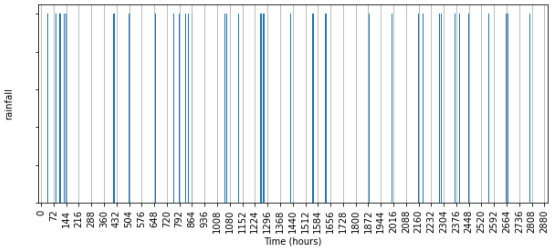
生成結果例として新潟市西区における 11～2 月の降雨パターンの生成例を図 8 に，実気象における降雨履歴を図 9 に示す．Hawkes 過程を用いることで，実気象に近い連続性のある降雨履歴パターンを作成することができた．



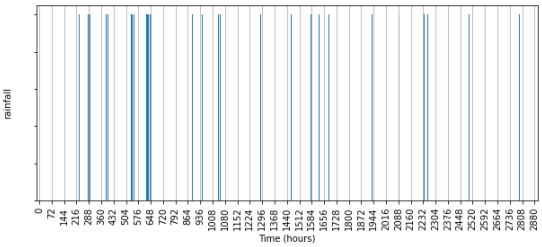
生成例①



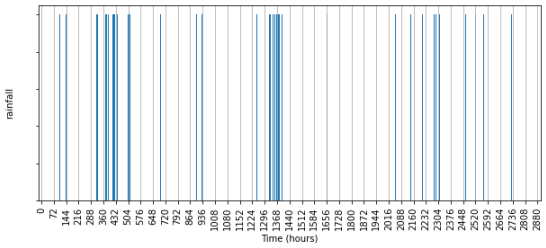
生成例②



生成例③



生成例④



生成例⑤

図 8　降雨履歴シミュレーション例（新潟市西区　11～2 月）

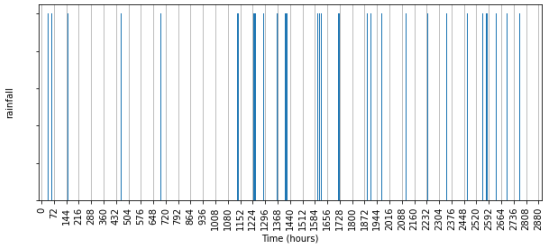


図 9　実際の降雨履歴（新潟市西区　2020 年 11～2 月）

新潟市西区における 2020 年の実気象と複数回実施したシミュレーションでの累積降雨時間の比較を行った結果を図 10 に示す.

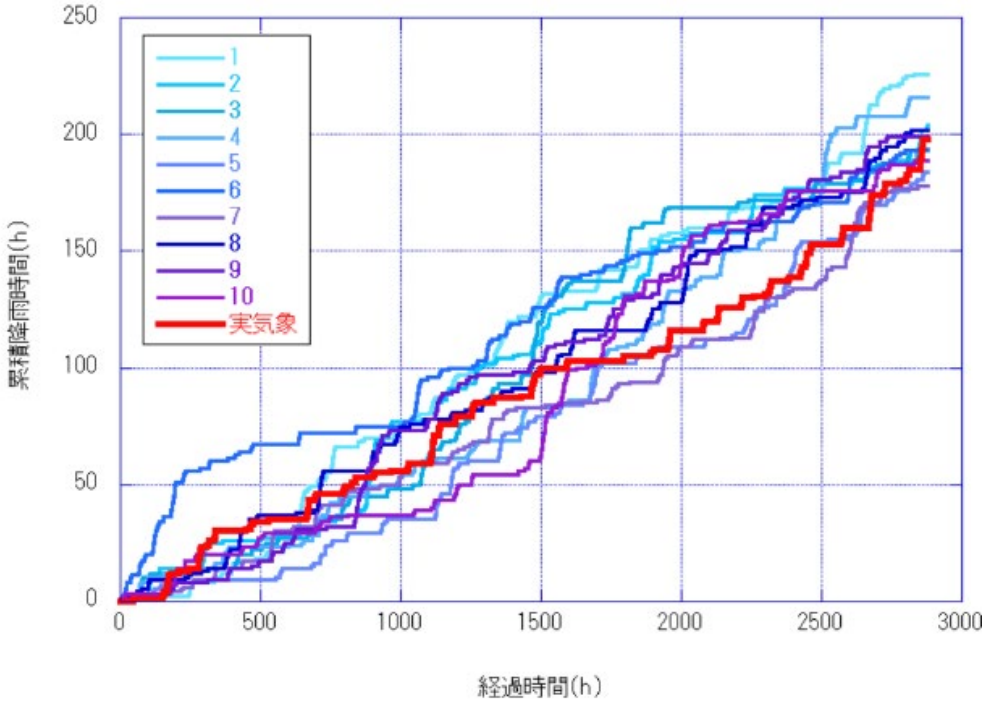


図 10　新潟市西区の 11～2 月における降雨パターンと実気象の降雨履歴の累積降雨時間分布の比較

５．まとめ

本研究では，コンクリートに与える気象作用として降雨を取り上げ，降雨データの統計処理を行い，地点ごとにパラメータを求め降雨履歴を作成し，劣化シミュレーション及び設計値設定のための基礎的検討を実施した．本研究により得られた成果をまとめると下記の通りである．

（１）降雨履歴が Hawkes 過程に従うと仮定し，各地点の各時期における強度関数パラメータを算出した．これにより，各地点・各時期の降雨の特徴を把握することができた．

（２）Hawkes 過程の強度関数を用いたシミュレーションによって，実気象の降雨履歴に近い降雨パターンを作成することができた．