

# コンクリート構造物の劣化に関するワイブル解析 Weibull Analysis of Degradation Data of Concrete Structures

渡嘉敷勝 長束勇 森充広 石村英明

Masaru Tokashiki, Isamu Natsuka, Mitsuhiro Mori and Hideaki Ishimura

## 1. はじめに

現在、各種の農業農村整備事業により造成された、ダム、頭首工、揚排水機場、用排水路などの農業水利施設は膨大な量に達しており、これらの中には老朽化が進行し、機能を維持するための補修・補強あるいは更新が必要とされる施設も多数存在する。そのため、今後は順次更新時期を迎えることが予想され、これら施設の機能維持が社会的課題となっている。ところで、水利施設の多数を占めるコンクリート構造物においては、その機能の現況把握および将来予測のための物理的根拠の一つとして、コンクリートの劣化状況があり、その劣化特性を明らかにしておく必要がある。ここでは、平成 11 年度に実施された全国的なコンクリート構造物の劣化実態調査データを用いて、ワイブル解析を適用し、コンクリート構造物の劣化特性を明らかにすることを目的とした。

## 2. 方法

(1) データの概要 旧 3 省（建設省・運輸省・農林水産省）共同で平成 11 年度に実施された全国的なコンクリート構造物の実態調査では、構造物ごとに劣化度（健全）から劣化度（著しい劣化）までの 5 段階に判定された。その構成を Table 1 に示す。判定は、7 名の専門家により写真と図面を主体とした劣化部位の外観によって評価された。ただし、トンネルについては、他の構造物と劣化度の評価指標が異なるため、以下の解析の適用対象外とした。

Table 1 Degradation degree of concrete structures.

劣化度	調査対象構造物							計
	橋梁 上部工	橋梁 下部工	高架橋	擁壁	カルバート	河川 構造物	トンネル	
	266	443	77	339	257	374	160	1 916
	89	74	17	63	94	139	101	577
	27	20	0	7	16	18	23	111
	5	3	0	4	3	3	3	21
	2	1	0	0	0	0	2	5
計	389	541	94	413	370	534	289	2 630

(2) 解析 信頼性工学の分野で寿命予測に用いられる 2 母数ワイブル分布を適用し、累積ハザード法によりパラメータを推定した。ワイブル分布の不信頼度関数は次式で表される。

$$F(t) = 1 - \exp[-(t/\lambda)^m]$$

$F(t)$ : 不信頼度関数,  $t$ : 時間,  $m$ : 形状パラメータ,  $\lambda$ : 尺度パラメータ

また、劣化度に与える劣化要因の影響を評価するために決定木解析(CART)を用いた。

## 3. 結果

(1) 劣化度 1, 劣化度 2 および劣化度 3 の各々を故障モードの閾値と定義し、各々の閾値以降の劣化度データを故障データとして、また、故障データ以外のデータを生存データとしてワイブル解析を適用した (Fig.1)。各々の近似曲線への適合が良いことから、これらのデータが、ワイブル分布に適合していることが示唆される。縦軸の不信頼度は、ある時点までに各劣化度に達する確率（以下、発現確率）を示す。この図より、各劣化度の発現確率と供用年数との関係が、定量的に把握できる。なお、劣化度 1 以降のワイブル解析においては、劣化度 1 以上を故障モードの閾値とした。

(2) 農林水産省が調査対象とした橋梁下部工・擁壁・河川構造物と他 2 省の同種構造物を合わせた、ワイブル分布の不信頼度を Fig.2 に示す。3 構造物の近似曲線がほぼ等しいこ

とから，劣化の発現に構造物種による差が無いことが示唆される。

(3) 劣化度を目的変数として，劣化要因と考えられる6項目（供用年数，コンクリート品質，配筋状況，アルカリ骨材反応，塩害，凍害）を説明変数とした決定木解析の結果，コンクリート低品質と配筋不良が有効な説明変数として選択され，両要因がコンクリートの劣化に大きく影響を与えていることが示唆される。

(4) コンクリート低品質と配筋不良を要因とする劣化データに対するワイブル分布の適用結果がFig.3である。コンクリート低品質による劣化が配筋不良による劣化よりも早期に発現することが示されている。この原因として，コンクリート低品質に起因する豆板やコールドジョイントなどは竣工段階から外観上把握しやすいのに対して，配筋不良（主にかぶり不足）を起因とする鉄筋腐食は化学反応に時間を要すること，また，腐食による鉄筋体積の膨張圧によるひび割れなどがコンクリート表面に達して外観上把握できるまでも時間を要すること，などによるものと考えられる。

(5) アルカリ骨材反応，塩害，凍害の劣化データにワイブル分布を適用した結果では，アルカリ骨材反応が塩害と凍害に比べ，劣化の発現が早いことが示されている（Fig.4）これは，アルカリ骨材反応が施工時点で既にコンクリート中に内包している反応性骨材に起因する現象であるのに対して，塩害と凍害が構造物外部の塩分濃度や気象条件などの外的要因に起因する現象であることによると考えられる。

#### 4.まとめと今後の課題

本報告では，コンクリート構造物の劣化度データに対してワイブル解析を適用し，その有用性を示した。しかし，解析に用いたデータには，調査対象構造物の抽出条件が不明確，劣化度に達したと考えられる真の供用年数が不明確，劣化原因の判断できないデータが少なからず存在，などの制約があるため，得られた結果については現在のところ参考にとどめておく必要がある。今後，経時的なデータの収集・蓄積が進めば，精度の高い解析が期待できる。

参考文献 建設省・運輸省・農林水産省(2000)：土木コンクリート構造物耐久性検討委員会の提言

〔謝辞〕本報告のデータ収集にあたり，農林水産省農村振興局整備部設計課施工企画調整室担当官のご支援を頂いた。記して深謝の意を表す。

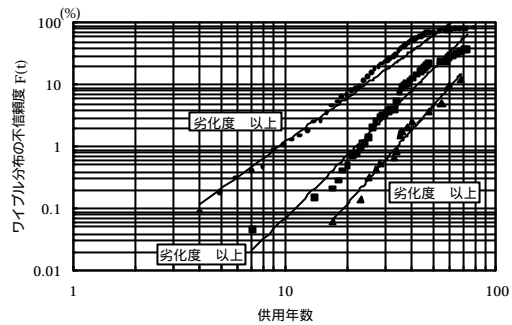


Fig. 1 Unreliability of each degradation degree for service time.

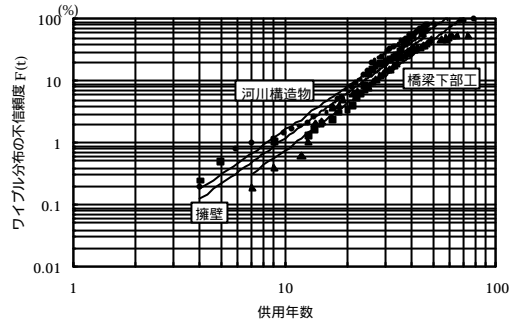


Fig. 2 Unreliability of river structure, retaining wall and bridge substructure.

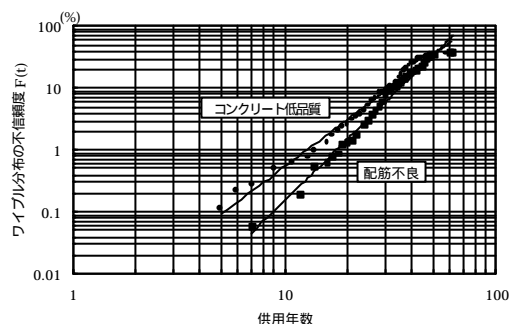


Fig. 3 Degradation caused by low quality concrete and thin cover.

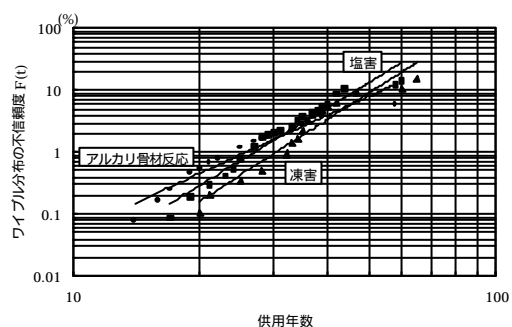


Fig. 4 Degradation caused by alkali-aggregate reaction, salt damage and frost damage.