

付録 17. 冗長性を考慮した橋梁信頼性

Barlow ら (1965、第 6 章) は次の 2 タイプのネットワークの冗長性を検討している。

- ・ 並列 (冗長ユニットが同時に並行して動作する)
- ・ 待機 (冗長ユニットが予備として待機し、順次代替される)

冗長性の最適配分は一つ以上の制約条件 (コスト、容積、重量等) のもとで得られる。このアプローチは橋梁よりもネットワークに適している。

Cremona (2003、第 12 章の 5) は並列系と直列系の信頼性に関して次のように表現している。すなわち、系は破壊要素の集合であり、この考え方に従えば、構造要素が破壊要素でなければ、その構造物は系とは呼ばない。

破壊メカニズムは、その破壊が系の破壊の原因となる要素の部分集合である。したがって、系の破壊は一つのメカニズムのすべての要素が破壊したときに起こる。

直列系では、すべての破壊メカニズムは単一の要素からなる。並列系は単一の破壊メカニズムをもつ。

Ghosn and Moses (NCHRP レポート 406、1998) は構造物の冗長性を、LRFD (AASHTO、2004) (本書の付録 25) で列挙された限界状態とは異なる下記の限界状態に対する信頼性と結びつけている。

- | | |
|--------|-------------------------|
| 部材の破壊： | 弾性解析によって求められる。 |
| 終局： | 終局耐荷力と崩壊メカニズムの形成 |
| 機能性： | 支間長の 1% に相当する最大たわみ |
| 損傷状態： | 一つの主耐荷部材が取り除かれたときの終局耐荷力 |

上記の限界状態における耐荷力性能はそれぞれ LF_1 、 LF_u 、 LF_f 、 LF_d である。それぞれの限界状態における系の目標信頼性指標 $\Delta\beta$ は次のように設定される。

(式)

ここに、 β は式 A7.6 で定義される。

構造性能に関する経験的根拠にもとづいて、対数正規分布が仮定される。関係する確率変数をよりの確に表しうるガンベル (またはほかの) 分布関数は、レベル 2 信頼性プログラムによって、「破壊がもっとも起こりそうな点における (NCHRP レポート 406、1998、p.12)」等価正規分布に変換しなければならない。レベル 2 とは、先に引用した Thoft-Christensen and Baker (1982) が提案した意味で用いられる。

一つの主要部材の損失に関しては、「終局、機能性、損傷」の限界状態に対する系の余裕比 R_u 、 R_f 、 R_d は次のとおりである。

(式)

確定的な値は、レポートの付録に示された各限界状態における典型的な構造物の耐荷力に対して計算される。NCHRP レポート 406 (1998) の表 2 に示された所要荷重係数比にもとづいて直接冗長性の照査法が開発されている。

非冗長部材の余裕 (R-D) に冗長性係数 ϕ_{red} を乗じて増加させる。冗長性係数 ϕ_{red} は次のように定義される。

(式 A17.1)

ここに、(式)

(式)

(式)

(式)

$$LF_{1,req} = (R_{req} - D) / L_{HS-20}, \quad (\text{AASHTO の HS-20 活荷重})$$

$R_{provided}$ = 現有部材耐荷力

R_{req} = 所要部材耐荷力

D = 死荷重

この手順はすべての構造部材またはクリティカルな部材に適用できる。橋梁上部構造の冗長性は、重要部材の破壊を許す増分非線形構造解析によって評価することができる。次のように系の冗長性係数 ϕ_s が導入される。

(式 A17.2)

ここに、 ϕ_s は基本 LRFD 方程式 (本書の式 4.1) の η_i に置き換わる。さまざまな橋梁について、目標平均信頼性指標にもとづいて系の係数 ϕ_s がまとめられている。

Liu ら (NCHRP レポート 458、2001) は、同じアプローチを橋脚に適用している。

Liu らの提案は、最終結果への確率的解析と確定的解析の寄与を明確に定義している。最もクリティカルな部材を選定するのは設計者または管理者の責任である。式 A17.1 の部材余裕比 r_1 と信頼性指標 β がしかるべく調整されるのであれば、(限界状態に関する) 限界荷重条件を式 A17.2 の左辺に加えてもよい。

AASHTO (2004) は、上述の式 3.1 の η 係数によって冗長性を次のように説明している。

γ_{imax} を適用する荷重の場合

(式 17.3a)

γ_{imin} を適用する荷重の場合

(式 17.3b)

ここに、 γ_i = 荷重係数、力の作用に適用される統計にもとづく乗数

η_i = じん性、冗長性、管理運用上の重要性に関する荷重修正係数

η_D = じん性に関する係数

= 1.05 強度耐荷限界状態における非じん性要素・接合部

= 1.00 仕様に従った従来の設計・ディテール

≥ 0.95 仕様で要求される対策以外の追加じん性強化対策が指定されているじん性要素・接合部

= 1.00 ほかのすべての限界状態

η_R = 冗長性に関する係数

≥ 1.05 強度耐荷限界状態における非冗長部材

= 1.00 強度耐荷限界状態における通常の冗長レベル

≥ 0.95 強度耐荷限界状態における例外的冗長レベル

= 1.00 ほかのすべての限界状態

η_I = 運用上の重要性に関する係数

≥ 1.05、強度耐荷限界状態における重要橋梁

= 1.00、強度耐荷限界状態における典型的橋梁

≥ 0.95、強度耐荷限界状態における重要度が相対的に低い橋梁

= 1.00、ほかのすべての限界状態

付録 18. データ統合

データ統合は、橋梁、幹線道路、鉄道、ライフラインのマネジメントシステムといったさまざまなソースから得られる多数のデータセットを組合せるか、あるいはリンクするプロセスである。「データ統合の手引き (FHWA, 2001c)」では以下の2つのデータベース構造が定義されている。

融合データベース (たとえば、データウェアハウス、図 A18.1)

選定データがさまざまなソースから収集され、フィルタにかけられ、集中型データベースにエクスポートされ、データを他の箇所に複製する。指定されたデータ融合ルールに従って、すべての部材データベースの当該サブセットに共通ユーザーインターフェイスが用いられる。

相互運用データベース (たとえば、連合型または分散型システム)

コンピュータ通信ネットワークでリンクされた複数のサイトにわたる別々の、場合によっては異なる解釈・実行を行うデータベースシステムの集まりである。(たとえば異なる) データ規格が統一され、処理機能が分散しているのが一般的である。

FHWA (2001C, p.17, p.18) では、表 A18.1 と表 18.2 に示すように、融合データベー

スと相互運用データベースが比較されている。

この比較では、集中型（トップダウン）の非冗長構造と分散型（ボトムアップ）の冗長構造との典型的な相違が特定されている。

表 A18.1 データ統合の代替手法

相互運用（連合型、分散型）データベース				融合データ（データウェアハウス）			
舗装 データベース	道路 台帳	構造 データベース	他の データベース	橋梁 管理 状態	台帳 位置	加バート 構造	維持管 履歴
				舗装 データベース	道路 台帳	構造 データベース	他の データベース
多重独立データサーバ				シングルデータサーバ			

表 A18.2 融合データベースと相互運用データベースの比較、手引書（FHWA、2001c、p. 18）

特性	融合データ（データウェアハウス）	相互運用データベース
データサーバ	単独（中央）	多重（分散）
データ複製	あり	なし
利点	データベースの管理・制御が容易 データ処理能力が最大 （クイックアクセス）	データを独立した位置と ファイルサーバに保存可能 （サイトの自律性） 故障し得る単一サイトに依存せず （たとえば、冗長性） 透明性 統一されたデータ記述 （たとえばデータモデルがわからなくてもよい） コンピュータネットワーク上にある 資源へのアクセス
欠点	実現に時間と費用がかかる 読取専用データ、オンライン更新なし 大きな記憶容量が必要	グローバルデータモデルのメンテが必要 費用がかかる データエクスポートのプロトコルが 変化すると、再構築が必要 データベース管理手続きが必要 （アクセスと更新）

全体の（融合または相互運用）データベース環境のなかで、データはたとえばデータベース管理システム（DBMS）といったシステムによって管理される。FHWA（2001e）はDBMSを「データベースからの情報の検索、変更、抽出を可能にするプログラムの集まり」と定義している。DBMSは以下のいずれかのモデルに従って構造化することができる。

フラットファイル型：データレコードには構造化された相互関係がない。コンピュータスペースは最小化されるが、アプリケーションと構造が密接でなければならない。

階層型：レコードが系統ツリーを形成し、それぞれが単一のオーナーを持つ。初期のメインフレームデータベース管理システムの典型であるこのモデルは、現実の構造物と関連づけることはできない。

リレーショナル型：データがテーブル（関係）のセットを形成し、そのなかでデータにアクセスしたり、データを抽出したり、元の配列を再編成することなくデータを再整理できる。各テーブル（関係）のカラムには一つ以上のデータカテゴリーが並ぶ。各列にはカラムで定義されたカテゴリーに対する一意的なデータが入る。

オブジェクト指向型：データは、オブジェクトコード（計算機命令シーケンス）によって操作される情報単位である。このモデルはデータとコードを単一のオブジェクトにマージする。

例 26 に示す橋梁検査のフローチャートと表の記述は、階層型モデルとリレーショナルモデルにおおむね似ている。

FHWA (2001c) はデータモデルにとどまらず、規格、参照システム、メタデータ、データディクショナリ、コンピュータ通信要件、ソフトウェア、ハードウェア、スタッフ配置、データ管理要件についても論じている。

FHWA (2001e) は 100 のデータ統合用語を定義した簡潔な用語集を提示しており、それには以下のような用語が含まれる。

アプリケーション：アプリケーションプログラムの省略形であり、直接にユーザーまたは別のソフトウェアプログラムのために特定の機能を果たすように設計されたソフトウェアプログラム

アセットマネジメント (AM)：交通基盤施設を管理するための戦略的アプローチ。AM は包括的意思決定をおこなうために統合されたデータと情報を必要とする。

原子アトミックデータ：アトミック原子データ項目のロールアップからなる「集合体データ」に対するものとして、詳細度が最も低い項目

コンピュータネットワーク：通信またはアプリケーションの分散を目的としてリンクされた複数のコンピュータシステムからなるグループ。ローカルエリアネットワーク (LAN) では、コンピュータは地理的に接近している。広域ネットワーク (WAN) では、コンピュータは離れており、電話または無線で接続される。

データ：

抽出：1つ以上のデータソースを読み取り、新たなデータ表現を作成するプロセス

マッピング：ソースデータ要素を目標データ要素に割り当てるプロセス

移送／変換：データを1つの形式から別の形式に変換するプロセス。移送が必要になるのは、現行システムと互換性がない新たなコンピュータシステムまたはデータ管理システムに変換する場合。

マイニング：それまで未知で有効でかつ利用価値のある情報・関係を大きなデータベースから抽出するプロセス

モデリング：データ要件を定義し、解析するために用いられ、組織の~~ビジネス~~業務プロセスを支える手法

パーティショニング：(リレーショナルデータベース管理システムにおけるように) データを物理的または論理的にセグメントに分割し、メンテナンスとアクセスを容易にするプロセス

スクラビング：データウェアハウスのために有効データを作成するために行うソースデータのフィルタリング、マージ、復号、変換

ウェアハウス：経営意思決定を支援するデータベースの集まり

情報システムアーキテクチャ：以下の事項を記述する情報システムフレームワーク

1. 業務ルール：たとえば、業務が果たす機能と業務が使用する情報
2. システム構造：たとえば、アプリケーションと製品の定義・相互関係
3. 技術仕様：たとえば、製品とアプリケーションが使用するインターフェイス、パラメータ、プロトコル
4. 製品仕様：たとえば、技術仕様の要素に関連する規格、アプリケーションの開発と実行におけるベンダー固有のツールとサービスの適用

Hassab (1997, p.26) は、組織とデータベースの「基本構造」を以下のように整理している。

階層構造：各ノードが従属部分をもつワークセンターとして上位のノードにリンクされ、ノード間のすべての事前設定リンクがサイクルを形成しないツリーで表される。サイクルは同じノードを始点と終点とする一連のリンクであり、どのリンク上でもバックトラッキングを必要としない。ノードからノードへの接続性は、組織の機能を統合するためにリンクに従う。接続性は物理的または論理的である。