

4 章 照査に関する一般事項

4.1 はじめに

本稿では、照査は、説明責任を果たすために妥当性を証明するための行為としている。したがって、照査では、設計で仮定した構造物が、要求性能に応じて設定された限界状態に至らないことを確認する行為を行うこととなる。照査方法としては、図 2.6 に記載したように実物実験、模型実験あるいは精度が検証された数値計算法などが用いられる。

数値計算法によって照査する手法には、「許容応力度設計法」や「限界状態設計法」等があり、我が国の事業体が定める技術基準には、このいずれかによる方法が規定されている。

鉄道構造物の場合、照査は、鉄道構造物等設計標準・同解説（以下、設計標準という）に従って行うこととなる。コンクリート鉄道構造物の技術基準の変遷を、表 4.1.1 に示す。

鉄道構造物の技術基準としては、1912 年（大正元年）に鋼鉄道橋設計示方書が制定されたのに始まり、1914 年（大正 3 年）に鉄筋混凝土橋梁設計心得が規定された。これは土木学会のコンクリート標準示方書に先立って定められた鉄道における初めての基準であり、一般的な基準として用いられた。その後、戦後の復旧工事時期、高度経済成長期などの時代の要請に応じて、先進的な技術の導入が図られ、随時改定され、現在に至っている。

その一例として、日本国有鉄道が最後に規定した「建造物設計標準」（昭和 58 年改訂）の目次を図 4.1.1 に示す。また、鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（平成 16 年制定）¹⁾ の目次を図 4.1.2 に示す。

日本国有鉄道が規定した「建造物設計標準」（昭和 58 年改訂）²⁾ では、許容応力度法を適用しながらも、以下の照査が導入されている。

- ・ コンクリートのひび割れが有害な場合の検討
- ・ 疲労を受ける部材の許容応力度
- ・ 安全度（部材の断面破壊に対する検討）
- ・ 耐震に関する一般構造細目

これらの規定の詳細な説明は省略するが、これらの規定は、現状の設計標準（平成 16 年版）の、外観や耐久性に対するひび割れの照査、疲労に対する照査、破壊に対する照査、および耐震に対する照査に、それぞれ該当しており、許容応力度体系化で、限界状態設計法や性能照査の概念が既に導入されていたことは特筆すべきことである。また、現在の技術基準で適用されている照査技術のベースが既に、この時期に構築されていたとも言える。

全鉄道事業者を対象とした鉄道構造物の技術基準は、「鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）」³⁾ が、平成 4 年度に制定されたのが最初である。これは、昭和 62 年の日本国有鉄道の分割民営化により、全鉄道事業者に対する技術基準の必要性から制定されたもので、国鉄建造物設計標準の技術を継承し、かつ、土木学会コンクリート標準示方書（昭和 61 年版）⁴⁾ に取り入れられた限界状態設計法を全面的に適用した基準となっている。

その後、性能照査型設計体系を導入し、照査方法として限界状態設計法を標準とした鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（平成 16 年版）に至っている。なお、

具体的な照査技術に関しては、阪神大震災により改善が図られた耐震に関する照査技術を除いては、設計標準（平成4年版）の照査技術を踏襲したものとなっている。

本章では、設計標準（平成4年版）制定時の経緯も含めて、設計標準（平成16年版）における、要求性能と限界状態、照査法としての限界状態設計法の概要を記載することとする。

表 4.1.1 鉄道コンクリート構造物に関する設計基準類の改訂経緯

年次	設計標準	備 考
1914年 (大正 3)	鉄筋混凝土橋梁設計心得	・ 鉄道における初めての設計施工基準 ・ 鉄道院において制定
1955年 (昭和30)	土木構造物の設計基準 (無筋および鉄筋コンクリート)	
1961年 (昭和36)	新幹線構造物設計基準	
1965年 (昭和40)	プレストレストコンクリート鉄道橋設計施工基準	
1970年 (昭和45)	建造物設計標準 (鉄筋コンクリート構造および無筋コンクリート 構造物, プレストレストコンクリート鉄道橋)	・ 構造物の設計に関わる基本的な内容を 網羅
1983年 (昭和58)	建造物設計標準 (改訂)	・ 許容応力度設計法を基本とし, 限界状 態設計法の概念が盛り込まれる
1992年 (平成 4)	鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物)	・ 限界状態設計法の導入
1999年 (平成11)	鉄道構造物等設計標準・同解説 (耐震設計)	・ 性能照査型設計法の導入
2004年 (平成16)	鉄道構造物等設計標準・同解説 (コンクリート構造物) (改訂)	

1 編 総 則	32 疲労をうける部材の許容応力度
1 章 総 則	33 コンクリートのひびわれが有害な場合の検討
1 適用の範囲	34 組合せた荷重に対する許容応力度
2 関連規程類	35 安 全 度
3 材料および施工	36 構造物の許容変位
4 用語の説明	6 章 設計計算における基礎的事項
5 記 号	37 不静定力または弾性変形の計算上の仮定
2 章 設計の基本	38 軸方向力および曲げ
6 設計の原則	39 せ ん 断
7 設 計 計 算	40 ね じ り
8 設 計 図	41 押抜きせん断
9 設計計算書	42 付着応力度
3 章 荷 重	43 支点付近における断面の算定
1 節 総 則	7 章 一般構造細目
10 総 則	1 節 鉄筋に関する一般構造細目
2 節 設計計算に用いる荷重	44 鉄筋の直径
11 死 荷 重	45 鉄筋のあき
12 活 荷 重	46 標準フックの形状寸法
13 衝 撃	47 フックをつける鉄筋
14 遠 心 荷 重	48 鉄筋の曲げ内半径
15 車両横荷重	49 ハンチその他の内側に沿う鉄筋
16 制動荷重および始動荷重	50 鉄筋の継手
17 風 荷 重	51 鉄筋の継手位置
18 雪 荷 重	52 鉄筋の定着
19 水圧その他の荷重	53 かぶりの一般標準
20 土 圧	54 束ねて配置する異形鉄筋
21 地震の影響	55 露出面の用心鉄筋
22 建設時の荷重	56 応力集中を生じる部分の補強
23 ロングレール縦荷重	57 開口部周辺の補強
24 橋脚その他に対する自動車の衝突荷重	2 節 部材に関する一般構造細目
25 温度変化の影響	58 面 取 り
26 コンクリートの乾燥収縮およびクリープの影響	59 ハ ン チ
27 その他の荷重	60 打 継 目
3 節 荷重の組合せ	61 伸 縮 継 目
28 荷重の組合せ	62 保 護 工
4 章 材料の品質	3 節 耐震に関する一般構造細目
29 鉄筋の品質	63 耐震に関する一般構造細目
30 コンクリートの品質	4 節 防水等に関する一般構造細目
5 章 許容応力度および安全度	64 一 般
31 基準の許容応力度	65 排 水 工
	66 防 水 工

図 4.1.1 国鉄「建造物設計標準」(昭和 58 年改訂)の目次

1 章 総 則	11.6 鋼材のあき
1.1 適用の範囲	11.7 鋼材の配置
1.2 用語の定義	11.8 鉄筋の曲げ形状
1.3 記 号	11.9 鉄筋の定着
2 章 設計の基本	11.10 鉄筋の付着
2.1 設計の目的	11.11 鉄筋の継手
2.2 設計の前提となる施工および維持管理の条件	11.12 PC 鋼材の定着, 接続および定着部コンクリートの補強
2.3 設計耐用期間	12 章 施工および維持管理
2.4 設計計算の精度	12.1 一 般
2.5 設計計算書に記載すべき事項	12.2 施 工
2.6 設計図に記載すべき事項	12.3 維 持 管 理
3 章 構造物の要求性能と性能照査	13 章 部 材
3.1 一 般	13.1 一 般
3.2 構造物の要求性能	13.2 ス ラ ブ
3.3 性能照査の原則	13.3 梁
3.4 性能照査の方法	13.4 柱
3.5 応答値と限界値を算定する関数	13.5 壁
3.6 安 全 係 数	13.6 フーチング
3.7 修 正 係 数	13.7 プレキャスト部材
4 章 作 用	14 章 構 造 物
4.1 一 般	14.1 一 般
4.2 作用の特性値	14.2 軌道上の輪荷重の取扱い
4.3 作用係数	14.3 ス ラ ブ 桁
4.4 作用の種類と特性値の算定	14.4 T 形断面の桁
4.5 設計作用の組合せ	14.5 箱形断面の桁
5 章 材 料	14.6 U 形断面の桁
5.1 一 般	14.7 斜 角 桁
5.2 材料の品質	14.8 連 続 桁
5.3 材料の特性値および設計値	14.9 曲線軌道を支持する直線桁
6 章 応答値の算定	14.10 曲 線 桁
6.1 一 般	14.11 橋 脚
6.2 構造物のモデル化	14.12 橋 台
6.3 構 造 解 析	14.13 ラーメン構造物
6.4 設計応答値の算定	14.14 フラットスラブ構造物
7 章 安全性の照査	14.15 ボックスカルバート
7.1 一 般	14.16 アーチ橋
7.2 破壊に関する安全性の照査	14.17 斜 張 橋
7.3 疲労破壊に関する安全性の照査	14.18 プレキャストコンクリート構造物
7.4 走行安全性の照査	14.19 橋 側 歩 道
7.5 公衆安全性の照査	14.20 高 欄
8 章 使用性の照査	15 章 構 造 細 目
8.1 一 般	15.1 一 般
8.2 乗り心地に関する使用性の照査	15.2 露出面の用心鉄筋
8.3 外観に関する使用性の照査	15.3 応力集中が生じる部分の補強
8.4 水密性に関する使用性の照査	15.4 開口部周辺の補強
8.5 騒音・振動に関する使用性の照査	15.5 ハ ン チ
9 章 復旧性の照査	15.6 面 取 り
9.1 一 般	15.7 打 継 目
9.2 損傷に関する復旧性の照査	15.8 目 地
9.3 安定に関する復旧性の照査	15.9 排水および防水
10 章 耐久性の検討	15.10 保 護 工
10.1 一 般	16 章 支 承 部
10.2 鋼材の腐食に関する検討	16.1 一 般
10.3 コンクリートの劣化に関する検討	16.2 支承部の照査の基本
11 章 照査の前提	16.3 支承部の設計作用とその組合せ
11.1 一 般	16.4 応答値の算定
11.2 か ぶ り	16.5 支承本体およびその周辺の照査
11.3 鉄筋の直径	16.6 移動制限装置の照査
11.4 最小鉄筋量および最大鉄筋量	16.7 落橋防止装置の照査
11.5 応力度の制限	16.8 鋼製支承を用いる場合の照査

図 4.1.2 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）（平成 16 年版）の目次

4.2 要求性能と限界状態

4.2.1 要求性能と限界状態

構造物の要求性能の定義や区分には、種々の見解や議論がある。現状では、一般に、安全性、使用性、復旧性などが規定されている場合が多い。鉄道構造物の設計標準では、それぞれの要求性能を以下のように定義している。

安全性：想定するすべての作用のもとで、構造物が使用者や周辺の人を生命を脅かさな
いための性能

使用性：想定する作用のもとで、構造物の使用者や周辺の人が快適に構造物を使用でき
るための性能、および構造物に要求される諸機能に対する性能

復旧性：構造物に生じる損傷に対する修復や機能回復の難易度に対する性能

実際の照査にあたっては、構造物の使用性・安全性・復旧性などの様々な状態に着目した各限界状態を設定し、その限界状態ごとに設定された制限値を満足することを照査することになる。

設計標準³⁾に規定された、要求性能と限界状態の関係を表 4.2.1 に示す。なお、参考として、一般の構造物に対する各要求性能に対する限界状態と関係の例を、表 4.2.2 に示す⁵⁾。

限界状態の具体的な照査は、限界状態を具現化できる照査指標の限界値と応答値を用いて行われる。なお、照査指標は、できるだけ限界状態への影響度を直接表すことができる指標を用いることが、照査結果の説明および理解する上で重要である。

表 4.2.1 要求性能，性能項目，照査指標と作用の例³⁾

要求性能	性能項目	照査指標の例	考慮する作用
安全性	破 壊	力，変位・変形	・ 設計耐用期間中に生じるすべての作用およびその繰返し^{*2} ・ 発生頻度は少ないが影響が大きい偶発作用^{*3}
	疲 労 破 壊	応力度，力	
	走行安全性	変位・変形	
	公衆安全性 ^{*1}	中性化深さ・塩化物イオン濃度	
使用性	乗 り 心 地	変位・変形	・ 設計耐用期間中に比較的しばしば生じる大きさの作用
	外 観 ^{*1}	ひび割れ幅，応力度	
	水 密 性 ^{*1}	ひび割れ幅，応力度	
	騒音・振動 ^{*1}	騒音レベル，振動レベル	
復旧性	損 傷	変位・変形，力，応力度	・ 設計耐用期間中に生じる作用 ・ 発生頻度は少ないが影響が大きい偶発作用^{*3}

*1 必要に応じ設定される性能項目

*2 疲労破壊の照査で考慮する作用は，変動の特性を考慮して別に定める。

*3 必要に応じ考慮する作用

表 4.2.2 要求性能，限界状態，照査指標と作用の例⁵⁾

要求性能	性能項目	限界状態	照査指標	考慮する作用
安全性	構造物または部材の破壊・崩壊	断面破壊	断面力	すべての作用（最大値）
		疲労破壊	応力度・断面力	繰返し作用
		構造物の安定の限界	変形・基礎構造による変形	すべての作用（最大値）・偶発作用
	機能上の安全性	走行性の限界	加速度・振動・変形	すべての作用（最大値）・偶発作用
		第三者影響度の限界	コンクリートの剥落（中性化深さ，塩化物イオン）	環境作用
使用性	快 適 性	走行性・歩行性の限界	加速度・振動・変形	比較的しばしば生じる大きさの作用
		外観の阻害	ひび割れ幅，応力度	比較的しばしば生じる大きさの作用
		騒音・振動数の限界	騒音・振動レベル	比較的しばしば生じる大きさの作用
	機 能 性	水密性の限界	構造体の透水量 ひび割れ幅	比較的しばしば生じる大きさの作用
		気密性の限界	構造体の透気量 ひび割れ幅	比較的しばしば生じる大きさの作用
		遮蔽性の限界	物質・エネルギーの漏洩量	比較的しばしば生じる大きさの作用
復旧性	修 復 性	損傷	変形・ひずみ・応力等	変動作用，偶発作用，環境作用

4.2.2 要求性能の取り扱い

設計標準に規定された要求性能の取り扱いに関しては、特徴的な部分を以下に説明する。

4.2.2.1 物理的特性から定まる性能と機能から定まる性能

構造物の性能には、変動作用や地震等の偶発作用の影響による破壊や崩壊等の構造物の物理的特性に基づく性能と、供用目的や機能の喪失等の機能上の安全性に大別される。設計標準では、両者に対する性能を設定することとした。鉄道構造物では、機能上の性能として列車走行性があり、乗り心地は使用性、列車走行安全性は安全性の中で照査されることになる。なお、この照査は、鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限）⁶⁾により行われる体系となっている。

土木学会の標準示方書等では、その性格上、構造物の機能を限定した記載はなされないことから、機能上の性能が具体的に記載されることは少ないが、設計標準では、鉄道構造物として列車走行安全性や乗り心地などの列車走行という最も重要な機能に対する性能が規定され、それらが要求性能に組み込まれている。

4.2.2.2 耐久性の扱い

設計標準では、安全性、使用性、復旧性、およびその他の要求性能は、設計耐用期間内を通じて満たされなければならないことを基本としている。構造物の耐久性は、設計耐用期間の確保という上位の概念と位置付けた。鋼材の腐食やコンクリートの劣化に対する抵抗性といった従来の耐久性は、時間の経過に伴って生じる材料特性の変化に起因した構造物や部材の性能の劣化に対する抵抗性ととらえ、「10 章 耐久性の検討」として、環境作用により生じる構造物中の材料の劣化に対する照査を行わなければならないこととしている。この検討は、安全性、使用性、復旧性に関する照査方法が、材料劣化などの影響を受けない状態であることを前提条件としたものであるため、そのような照査方法を使用する上での、前提条件ともなるものであることを認識しておく必要がある。

また、変動作用等の外力作用に起因する繰返し作用による性能の経時変化（例えば疲労）に対する抵抗性は、要求性能に含めないこととし、これらは、安全性の中で外力作用としての繰返し作用に対する個別の照査によって検討することとしている。

4.2.2.3 材料特性等の施工への受け渡し

設計標準では、構造物の設計作業段階で要求性能を照査することを規定している。そのため、要求性能を照査する段階では、施工条件や使用材料の特性などの条件を設定して行われることになり、設計段階で材料の基本的な品質を規定していることになる。したがって、実際に構造物が建設される施工段階では、照査の段階で設定した材料の品質を満足する材料が使用されることが、極めて重要となる。

とくに、W/C、単位水量、単位セメント量、セメントの種類などのコンクリートの品質に

関する情報は、設計耐用期間中の環境作用に対する材料劣化の抵抗性を確保することの前提条件となる事項であるため、これらの情報は、設計図に記載され施工段階へ確実に引き継がれ、施工段階で設計作業で前提としたコンクリートの品質が確保されていることを照査する必要がある。なお、多くの事業体では、各事業体ごとに、照査時に設定する材料の品質と整合性があり、かつ地域のコンクリートの状況を考慮した標準配合が規定されており、これをもって設計作業から施工への情報の伝達が実施されているのが実態である（図4.2.1）。したがって、特殊な品質のコンクリートを使用する場合には、設計作業段階での材料の品質に関する前提条件が確実に施工側へ伝達されるように、設計図等に使用材料特性を詳細に明記することが必要となる。

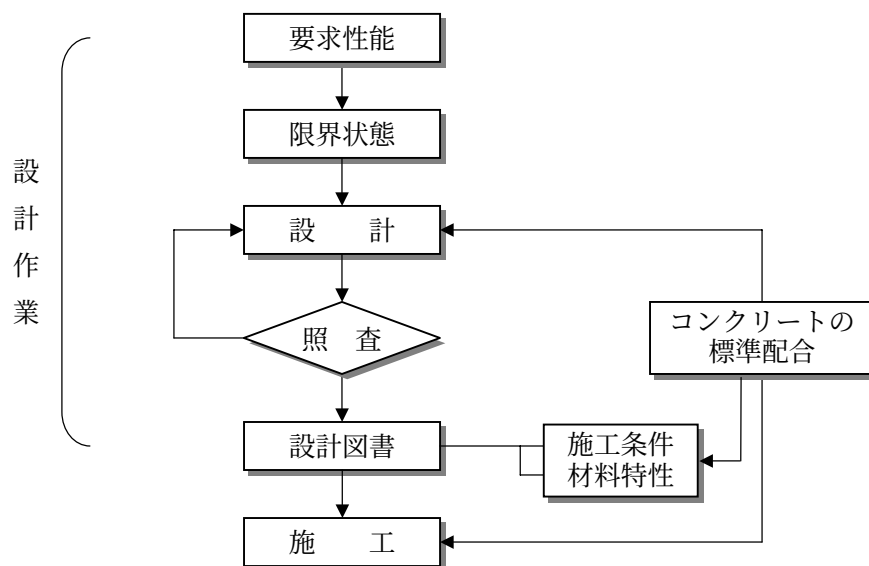


図 4.2.1 材料特性等の施工への受け渡し

4.3 限界状態の照査方法

設計標準で照査方法の標準としている限界状態設計法は、構造物が満足すべき限界状態に関する全ての検討を、それぞれに最も適切な作用と方法を用いて個々に照査する手法であり、それらを1つの設計体系の中でとりあげていることが合理的である。

なお、設計標準に採用された限界状態設計法は、前述のとおり、コンクリート標準示方書（昭和61年制定）⁴⁾との整合を図り、部分安全係数法を採用している。すなわち、表4.3.1に定義する5つの部分安全係数を用い、図4.3.1のプロセスに従って安全性をはじめとする検討事項の照査を行うこととしている。

図4.3.1中の作用の特性値 F_k と材料強度の特性値 f_k の定義は、破壊に対する限界状態の場合、概念的には図4.3.2に示すとおりである。ここで、構造物係数 γ_i は安全余裕度を与えるものであり、構造物の重要度、限界状態に達したときの社会的影響、経済性等を考慮して定める。設計標準では γ_i に1.0～1.2の幅を持たせたことが一つの特徴である。ただし、主たる変動作用（後述）に対する検討では一般に1.1以上とするのが望ましいこと、また偶発作用の場合は1.0としてよいこととしている。

表 4.3.1 部分安全係数^{1), 3)}

	配慮されている内容	取扱う項目
応答値	1. 作用のばらつき (1) 作用の統計的データから判断できる部分 (2) 作用の統計的データから判断できない部分（統計的データの不足・偏り，設計耐用期間中の変化，算定方法の不確実性等によるもの） 2. 限界状態に及ぼす影響の度合 3. 応答値算定時の構造解析の不確実性	特性値 F_k 作用係数 γ_f 構造解析係数 γ_a
限界値	1. 材料強度のばらつき (1) 材料実験データから判断できる部分 (2) 材料実験データから判断できない部分（実験データの不足・偏り，品質管理の程度，経時変化等によるもの） 2. 限界状態に及ぼす影響の度合 3. 限界状態の不確実性，部材寸法のばらつき，部材の重要度，破壊性状等	特性値 f_k 材料係数 γ_m 部材係数 γ_b
	構造物の重要度，限界状態に達した時の社会的影響等，経済性等	構造物係数 γ_i

断面力		断面耐力	
作用の特性値	F_k	材料強度の特性値	f_k
γ_f		γ_m	
設計作用	$F_d = \gamma_f F_k$	材料の設計強度	$f_d = f_k / \gamma_m$
断面力	$S(F_d)$	断面耐力	$R(f_d)$
γ_a		γ_b	
設計断面力	$S_d = \sum \gamma_a S(F_d)$	設計断面耐力	$R_d = R(f_d) / \gamma_b$

$$\text{照査式 } \gamma_i S_d / R_d \leq 1.0$$

図 4.3.1 破壊に対する安全性の検討

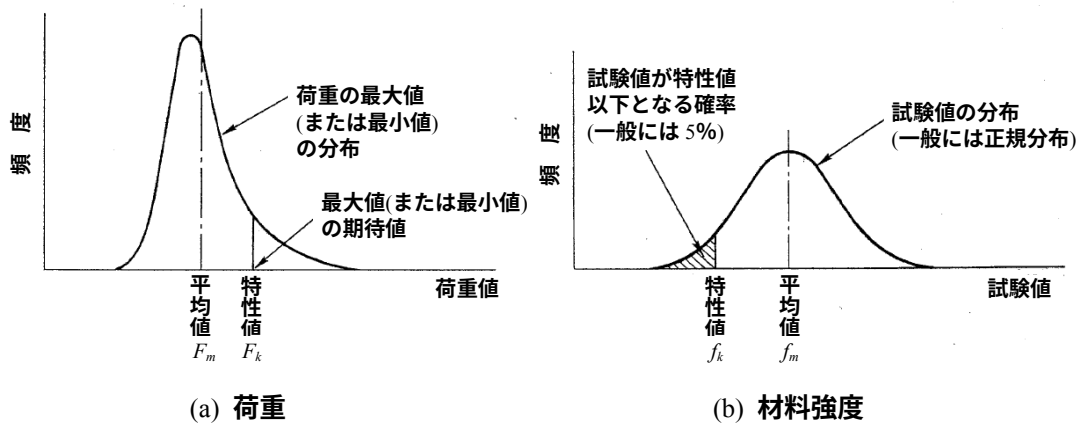


図 4.3.2 特性値の定義 (破壊に対する限界状態)

設計標準では、表 4.3.1 に示したように 5 つの部分安全係数を用いて照査を行うことになるが、各部分安全係数の設定にあたっては、設計標準（平成 4 年版）制定時に種々の検討や議論が行われた。

各安全係数の値の多くは、鉄道コンクリート構造物として固有の値として設定されるものは少ないため、コンクリート標準示方書（昭和 61 年版）に従って設定された値を基本として使用し、現在も踏襲している。

なお、設計標準（平成 4 年版）制定時の問題は、個々の部分安全係数は、その性格上、鉄道構造物固有の値として設定するものではないとしても、限界状態設計法による照査を満足する設計解と、従来の許容応力度法の設計解の間に、大きな乖離が生じるか否かであった。

そこで、当時、限界状態設計法における作用の特性値に対する断面力 $S(F_k)$ と許容応力度法の設計断面力 S_d が等しいと過程（機関車荷重の場合）し、標準的な構造物を対象として、死荷重+列車荷事（衝撃を含む）の組合せ下で両設計法が要求する全体安全率を破壊モードごとに比較する検討が行われた。鉄筋コンクリート桁を対象とした検討の一例を、表 4.3.2 に示す⁷⁾。

なお、全体安全率の定義は次のとおりである。

限界状態設計法：安全性照査式より定まる $R(f_k) / S(F_k)$ の値

($R(f_k)$ は材料強度の特性値に対する断面耐力)

許容応力度設計法：許容応力度照査式により定まる $R(f_k) / S_d$ の値

ここで、作用係数 γ_f は一律に 1.1，構造解析係数 γ_a は 1.0，材料係数 γ_c は 1.3， γ_s は 1.0，構造物係数 γ_i は 1.2 とした（部材係数 γ_b については後述）。

表 4.3.2 の全体安全率の値については、あくまで標準的な場合に対する目安としての比較である。これによると、曲げ引張破壊に対する全体安全率率は、許容応力度法と概ね同等であり、せん断破壊に対する全体安全率は、許容応力度法に比べて小さくなる傾向となっている。これは、せん断破壊に対する照査技術が進歩した結果であり、必要な全体安全率は確保されているものと考えた。よって、個別に設定された部分安全係数は、適切な作用の特性値を設定することを前提条件として、最終的な設計解は、概ね妥当であるとの考えに至り、100 基程度の試設計を実施し、部分安全係数の妥当性を検証して、具体的数値の採用に至った。なお、当時の検討は、許容応力度法体系から限界状態設計法体系へスムーズに移行させることが最大の目的であり、限界状態設計法を合理的な照査法とする検討は、後の検討に委ねることとした。

表 4.3.2 全体安全率の比較⁷⁾

	限界状態設計法	許容応力度設計法
曲げ引張破壊	1.6	1.75
曲げせん断破壊	1.6	2.1
斜圧縮破壊	2.0	3.6

4.4 作用の基本事項^{1), 3)}

4.4.1 作用の種類

設計標準では、近年、構造物の照査で動的解析や非線形解析など、重力や力等へのモデル化の手順を踏まずに、直接その影響を考慮して応答を算定する事例が増加してきたこと、また、耐久性に関する検討方法も、構造物の環境条件を考慮して鉄筋の腐食限界を求めるなど、環境の影響が陽な形で扱われてきていることなどから、作用と荷重を以下のように定義して、使い分けることとしている。

作 用：構造物または部材に、応力、変形の増減、材料特性に経時変化を起こさせる全ての働き

荷 重：各種作用のうち、設計に考慮するために力や重量にモデル化したもの。

したがって、作用と荷重の関係は、図 4.4.1 に示すとおりとなる。表 4.4.1 に設計標準で考慮すべきとしている作用を示す。

このうち、鉄道構造物特有の作用として、以下の作用等があるが、その概要は後述する。

- ・列車荷重
- ・遠心荷重
- ・衝撃荷重
- ・始動制動
- ・車両横荷重
- ・ロングレール縦荷重

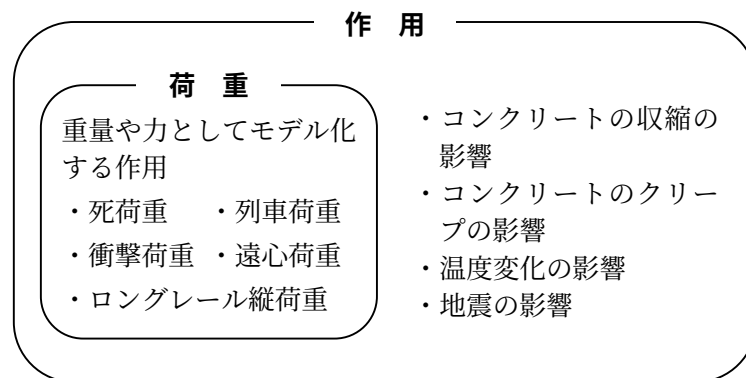


図 4.4.1 作用と荷重の関係

なお、照査に関する一般事項としては、耐力やひび割れ幅などの鉄筋コンクリート構造に関する事項が重要視される傾向がある。しかし、照査は、荷重、応答、抵抗の一連の関係により得らるものであり、作用（荷重）の設定や設計方法は、耐力やひび割れ幅などの構造体の物理特性と同様に照査の根幹となる事項である。

そこで、本項では、現在の設計標準における作用の取り扱いの過去の経緯なども含めて、既往の文献などを参考として、概説することとした。

表 4.4.1 作用の種類

固定死荷重	D_1	コンクリートのクリープの影響	C_R
付加死荷重	D_2	温度変化の影響	T
列車荷重	L	土圧	E
衝撃荷重	I	水圧，流水力および波力	W_P
遠心荷重	C	風荷重	W
車両横荷重および車両横圧荷重	L_F	雪荷重	S
制動荷重および始動荷重	B	地震の影響	E_Q
軌道作業車荷重	L_M	地盤変位および支点移動の影響	G_D
群集荷重	L_P	施工時荷重	E_R
ロングレール縦荷重	L_R	自動車の衝突荷重	M
プレストレス力	P_S	環境の影響	E_V
コンクリートの収縮の影響	S_H	その他の作用	

4.4.2 作用の取り扱い

作用は，その特性に応じて以下のように3つに分類して定義されている。

永久作用：変動がほとんどないか，変動作用の持続的成分に比べて無視できるほど小さい，あるいは変動成分が持続的成分に比べてある大きさを持つ場合もその変動が極めて穏やかな作用

変動作用：変動が頻繁にあるいは継続的に起こり，かつ変動成分が持続的成分に比べて無視できないほど大きい作用

偶発作用：設計供用期間中にほとんど作用しないが，生じるとすれば重大な影響を及ぼす作用

また，上記の定義に基づき照査する事項に応じて，それぞれの作用の特性値を定め，その作用の特性値から望ましくない方向への変動，算出方法の不確実性，照査する限界状態に及ぼす影響などを考慮するための安全係数を作用係数と定義している．したがって，個々の作用の設計値（設計作用）は，作用の特性値に作用係数を乗じることにより定められることになる．

4.4.3 設計作用とその組合せの基本的考え方^{1), 3), 7)}

設計標準における要求性能ごとの設計作用の組合せを表 4.4.2 に，作用係数を表 4.4.3 にそれぞれ示す．

設計作用の組合せにおいて，変動作用を「主たる」と「従たる」に区分していることが特徴である．ここで，主たる変動作用とは，それぞれの性能の限界状態に達する主要因と考える作用，従たる変動作用とは主要因ではなく副次的要因と考える作用を意味している．式（4.4.1）に，設計作用とその組合せの基本的な考え方を示す．

$$S_d = \Sigma \{ \gamma_{ap} \cdot S_p(\gamma_{fp} \cdot F_{kp}) \} + \Sigma \{ \gamma_{av} \cdot S_v(\gamma_{fv} \cdot F_{kv}) \} + \Sigma \{ \gamma_{aa} \cdot S_a(\gamma_{fa} \cdot F_{ka}) \} \quad (4.4.1)$$

ここに、 S_d : 設計断面力

S_p, S_v, S_a : それぞれ、永久作用、主たる変動作用、従たる変動作用による断面力を求めるための関数

F_{kp}, F_{kv}, F_{ka} : それぞれ永久作用、主たる変動作用、従たる変動作用の特性値

$\gamma_{fp}, \gamma_{fv}, \gamma_{fa}$: それぞれ永久作用、主たる変動作用、従たる変動作用の作用係数

$\gamma_{ap}, \gamma_{av}, \gamma_{aa}$: それぞれ永久作用、主たる変動作用、従たる変動作用の構造解析係数

表 4.4.2 設計作用の主な組合せ¹⁾

要求性能	性能項目	作用の組合せ
安全性	破壊	永久作用＋主たる変動作用＋従たる変動作用 永久作用＋偶発作用＋従たる変動作用
	疲労破壊	永久作用＋変動作用
	走行安全性	永久作用＋変動作用 永久作用＋偶発作用＋従たる変動作用
使用性	乗り心地	永久作用＋変動作用
	外観	
復旧性	損傷	永久作用＋変動作用
		永久作用＋偶発作用＋従たる変動作用

表 4.4.3 作用係数 γ_f ¹⁾

要求性能	性能項目	作用の種別	作用係数 γ_f
安全性	破壊	永久作用	1.0～1.2 または 0.8～1.0*
		主たる変動作用	1.1～1.2
		従たる変動作用	1.0
		偶発作用	1.0
	走行安全性 疲労破壊	すべての作用	1.0
使用性	乗り心地 外観	すべての作用	1.0
復旧性	損傷	すべての作用	1.0

*小さいほうが不利となる場合

破壊に対する照査において、永久作用と組み合わせる変動作用は、1つだけを対象とすることは少なく、同時に複数を考慮するのが一般的である。しかし、最大値が同時に生じる可能性は一般に小さいと考えられるので、複数の変動作用を組み合わせる場合には、何らかの調整を行うことが合理的に照査を行うために必要となる。許容応力度設計法では、荷重の組合せに応じて許容応力度を割増すことにより対処していた。設計標準では、これに代わるものとして、破壊に対する照査に用いる変動作用に主・従の区分が導入されている。

主たる変動作用は、通常 1 つあるいは 1 組だけ考える作用であり、その設計作用は、最

大値の期待値として定義される特性値に作用係数を乗じて算定される。

一方、従たる変動作用は、主たる変動作用または偶発作用と組み合わせて付加的に考慮すべき作用であり、その特性値は、同じ作用を主たる変動作用とした場合よりも一般に小さい値に設定することができる。もちろん、主たる変動作用とした場合の特性値と同じ値とすることが最も安全側の設定であり、不経済な照査結果とならないならば、このような選択が許されることになる。

ただし、主・従の区分は作用の種類により定まるものではなく、いずれの変動作用も「主たる」にも「従たる」にもなり得る。従って、一方を「主たる」とし他方を「従たる」とした場合には、必ずその逆もあり得る。しかし、決定ケースとはならないことが明らかな組合せは省略することができ、実績を積むことにより組合せケースを減らすことが可能になる。

このように、変動作用を主・従に区分する方法では、主たる変動作用はあくまで単独に生じるとした場合の設計作用の値とし、付加的に考慮する従たる変動作用により設計断面力などを調整する。従って、主たる変動作用による断面力が下限値となり、従たる変動作用を組み合わせると設計断面力は必ず増加するという点においてエンジニアリング的に明快であり、また破壊に対する照査をする作用の組合せ状態を具体的に特定している点において安心感の高い組合せ方法であると言える。

なお、設計標準（平成4年版）では、当初、土木学会コンクリート標準示方書（昭和61年版）に記載された設計作用の組合せでは、組合せ係数を用いる方法が検討されていた。しかし、確率的概念が導入された組合せ係数を用いた手法を取り入れることは、実務的には困難との判断から、式（4.4.1）に示す方法を用いることとなった。また、設計標準（平成4年制定）に先立って、平成3年に改訂された土木学会コンクリート標準示方書（平成3年版）も同様の方法に改訂されている。

なお、前述した現在用いられている設計作用の分類と組合せの考え方は、以下のように説明されている^{1), 3), 8)}。

個々の作用の設計値、すなわち設計作用は、作用の特性値に作用係数を乗じることにより定められる。

したがって、作用の特性値と作用係数の値をいかなる方法により定めるのが重要となってくる。しかし現実には、これらの値を定めるための十分なデータが得られず、作用の特性値と作用係数の定義に確率・統計学的な説明を加えることが困難な場合も考えられる。

一方で、従来から用いられてきた許容応力度設計法においても、破壊に関する構造物の安全性を結果的にせよ保証してきた実態からすると、これは安全係数の概念を用いて設計作用を定めていたことと等価であると考えられる。すなわち、構造物をいかなる方法で設計するにせよ、「設計作用は最終的には工学的判断に基づいて決定しなければならない」ものであると言える。

以上のような背景に基づき、本標準では、「設計作用のおおよその値は想定することができる」、あるいは「想定しなければならない」ものとし、その値を確定しやすくするための補助的手段として特性値と作用係数からなる概念を定めることとした。

限界状態設計法は、部分安全係数は確率論的に設定されるべきものとの考え方があるが、それ自体は原則であり否定されるべきものではない。したがって、より合理的な照査方法を確立するためには、限界状態に対する限界値に関する照査技術の検討はもとより、設計作用の組合せなどに対する検討⁹⁾も同様に重要であることは言うまでもない。

このような考えに基づいた設計作用の組合せを用いた限界状態設計法が導入されわずか20年ではあるが、これまで大きな問題も発生せずに構造物が供用されている実績に基づけば、当時の工学的判断は、現時点では妥当であるとも考えることもできる。

この考えに基いた安全性の照査における設計作用の組合せの基本事項が、設計標準に示されている。以下にその概要を示す。

- (i) 破壊に関する照査において列車荷重を主たる変動作用とする場合、衝撃荷重および遠心荷重は同時に働く主たる変動作用とする。
- (ii) 破壊に関する照査において車両横荷重または車輪横圧荷重を主たる変動作用とする場合、列車荷重は従たる変動作用とする。
- (iii) 破壊に関する照査において制動荷重または始動荷重を主たる変動作用とする場合、列車荷重は従たる変動作用とする。この場合、衝撃荷重および遠心荷重は考慮しなくてよい。
- (iv) 破壊に関する照査においてロングレール縦荷重を主たる変動作用とする場合、列車荷重は従たる変動作用とする。
- (v) 破壊に関する照査において制動荷重または始動荷重を主たる変動作用とする場合、ロングレール縦荷重は従たる変動作用とする。
- (vi) 破壊に関する照査において列車荷重を主たる変動作用とする場合、風荷重は従たる変動作用とする。
- (vii) 破壊に関する照査において風荷重を主たる変動作用とする場合、列車荷重は考慮しなくてよい。
- (viii) 疲労破壊に関する照査において列車荷重を変動作用とする場合、一般に、列車荷重、衝撃荷重および遠心荷重を考慮する。
- (ix) 走行安全性に関する照査において列車荷重を変動作用とする場合、一般に、列車荷重、衝撃荷重および遠心荷重を考慮する。
- (x) 破壊および走行安全性に関する照査において偶発作用として地震の影響を考慮する場合、列車荷重を従たる変動作用とする。この場合、衝撃荷重および遠心荷重は考慮しなくてよい。
- (xi) 破壊および走行安全性に関する照査において偶発作用として地震の影響を考慮する場合、風荷重は考慮しなくてよい。

4.4.4 特性値の定義および作用係数^{1), 3)}

作用の特性値および作用係数は、要求性能に対する限界状態の照査項目に応じて定めることが原則である。したがって、例えば、安全性における破壊と疲労破壊のように、同じ性能であっても性能項目によって特性値や作用係数が異なってもよいことになる。

以下に、主な照査における特性値の定義および対応する作用係数の値の設定方法についての概要を示す。

(1) 破壊に関する安全性の照査

破壊に対する安全性の照査に用いる永久作用、主たる変動作用および偶発作用の特性値は、「構造物の施工期間または設計供用期間を上まわる再現期間における最大作用の期待値とする。ただし、永久作用において小さい方が不利となる場合には、最小作用の期待値とする。」と定義されている。この定義および対応する作用係数の値の基本的な考え方を以下に示す。

1) 主たる変動作用および永久作用に対する作用係数

主たる変動作用および永久作用に対する作用係数は、現時点でのデータに基づき、特性値として最大作用の期待値を決定し、さらにその確かさに応じて 1.1～1.2 の作用係数を乗じて設計作用を定める。

この作用係数は、上記の特性値の定義に対するものとすれば、その場合 1.2 の作用係数は十分な大きさである。なお、作用の規格値が定められている場合には、適切な作用修正係数を乗じて、上記の定義に合った特性値に変換することが必要である。

永久作用は、自重など変動する可能性の小さい固定死荷重に対して 1.0～1.1、版上荷重など部材自重に比べて変動する可能性の大きい付加死荷重に対して 1.1～1.2 とするのがよい。なお、バラスト軌道等の付加死荷重については、将来の変動可能性を考慮した上で特性値を決定し、さらに作用係数を乗じて設計作用を定めなければならない。

2) 偶発作用に対する作用係数

偶発作用とは、設計供用期間中に作用する頻度は極めて小さいが、一度生じるとその影響が非常に大きい作用であり、地震の影響、衝突荷重等がある。地震の影響に対しては、概念的には、地震の影響の大きさに応じた構造物の建設費用と、地震の影響による損傷による損失を勘案して、偶発作用の設計作用の特性値を設定する必要がある。

しかし、現状では、工学的判断に基づき、主たる変動作用の場合よりも概念的な破壊確率がいくぶん大きくなってもやむをえないとして定めた作用とするのが一般である。したがって、設計想定地震動の規模や、その他の作用を適切に設定することを前提に、作用係数は 1.0 としてよい。

3) 従たる変動作用に対する作用係数

従たる変動作用の特性値は、同じ変動作用を主たる変動作用とした場合よりも一般に小

さい値に設定してもよい。従たる変動作用に対する作用係数は形式上の値として 1.0 を用いる。

(2) 疲労破壊に関する安全性の照査

疲労破壊に関する安全性の照査に用いる作用の特性値は、「設計供用期間中の変動を考慮して定める」必要がある。したがって、最も頻度が高いところに特性値を設定するか、あるいは頻度とペアで何段階かの特性値を設定することになる。

疲労破壊に関する安全性の照査では、「変動作用」に対する作用係数は形式上の値として 1.0 を用いる。

(3) 使用性の照査

設計供用期間中に比較的しばしば生じる大きさの作用に対して特性値を定める。永久作用の特性値は通常の使用状態における値を用いればよい。この場合、作用係数は形式上の値として 1.0 を用いる。

(4) 損傷に関する復旧性の照査

復旧性の性能レベルに応じて作用の特性値を定めるが、偶発作用と組み合わせる変動作用は、しばしば生じる通常の使用状態における値を用いてよい。

(5) 耐久性に対する検討

耐久性の検討に用いる作用の特性値は、しばしば生じる通常の使用状態における値、すなわち使用性の照査に準じて定めてよい。

4.4.5 列車荷重^{1), 3)}

4.4.5.1 列車荷重と標準列車荷重

列車荷重は、鉄道車両の特性を考慮して、一般に、機関車荷重、電車・内燃動車荷重および新幹線荷重に区分している。また、当該線区には、多様な形態の車両が走行するが、それらの作用を包含した標準列車荷重を定めて、照査に用いてよいことが規定されている。

標準列車荷重は、機関車荷重、電車・内燃動車荷重および新幹線荷重ごとに以下のように、設定されている。

機関車荷重は、JR 社の機関車を基本モデルとした荷重であり、標準列車荷重の一例として EA 荷重がある（図 4.4.2 参照）。電車・内燃動車荷重は、JR 社で標準的に使用されている 20m 長車両の軸配置を基本モデルとした荷重であり、標準列車荷重の一例として M 荷重がある（図 4.4.3 参照）。

新幹線荷重には、JR 社において標準的に使用されている 25m 長車両の軸配置を基本モデルとした H 荷重がある（図 4.4.4 参照）。また、新幹線鉄道構造規則に規定されていた N 標準活荷重、P 標準活荷重などもある。

なお、鉄道車両は、設計時に計画重量を定めて製作されており、同一形式における車両実重量のばらつきは極めて小さい。旅客列車の最大積載重量は、詰込み乗車試験結果¹⁰⁾ などにより最大 7.8kN/m²（12 人/m²×0.64 kN/人）等が得られており、最大乗車可能人員の重量により予測することができる。一方、貨物列車の牽引荷重は、積載要領や載荷の種類から想定される過積重量を考慮することで設定することが可能である。

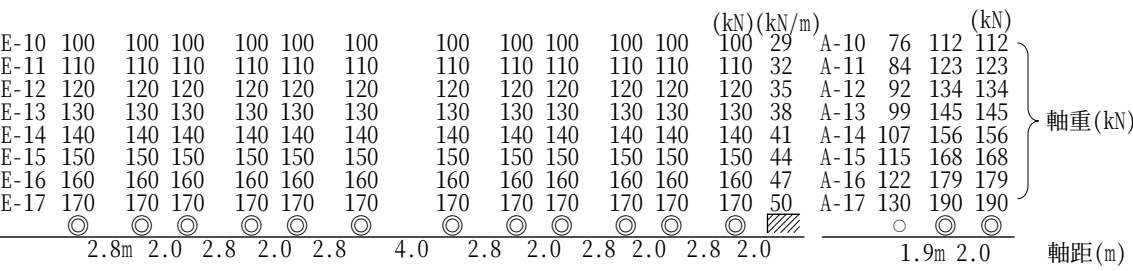


図 4.4.2 EA 荷重¹⁾

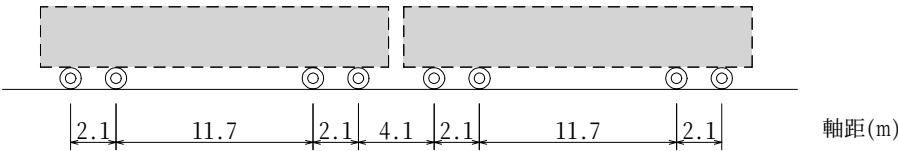


図 4.4.3 M 荷重¹⁾

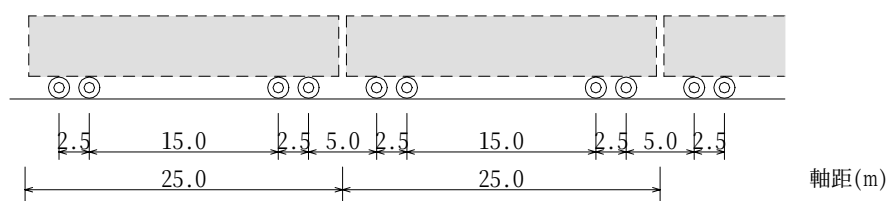


図 4.4.4 H 荷重¹⁾

4.4.5.2 列車荷重の特性値^{1), 3)}

各性能項目に応じた列車荷重の特性値の設定の考え方を示す。この場合、2 線以上の線路を支持する構造物では、一般に表 4.4.4 により列車荷重を載荷する線路本数を定めてよいこととされている。

表 4.4.4 各性能項目の照査に用いる列車荷重と載荷する線路本数の例¹⁾

要求性能	性能項目	特性値の設定	載荷する線路本数		
			1～2 線支持	3～4 線支持	5 線以上
安全性	破壊（地震時以外）	最大積載	全線		
	破壊（地震時）	使用状況に基づき定める*	1	2	3
	疲労破壊	当該線区の実状による	必要に応じて同時載荷の影響を考慮する		
	走行安全性（地震時以外）	最大積載	全線		
	走行安全性（地震時）	使用状況に基づき定める*	1	2	3
使用性	乗り心地	使用状況に基づき定める*	1	2	3
	外観	考慮しない	0		
復旧性	損傷（地震時以外）	最大積載	全線		
	損傷（地震時）	使用状況に基づき定める*	1	2	3

* 新幹線、電車・内燃動車については定員乗車、機関車については、通常の牽引重量に基き定める。

(a) 破壊の照査に用いる列車荷重

破壊に関する安全性の照査に用いる列車荷重の特性値は、照査対象とする線区に使用する列車および車両に対してこれらの重量評価を行い、構造物または部材に最大の影響を及ぼすものを包含するように、軸配置、車両実重量および最大積載重量に基づいて定める必要がある。JR 社においては、前述の標準列車荷重を主たる変動荷重の特性値とするのが一般である。

なお、地震時における破壊に関する安全性の照査に用いる列車荷重は、従たる変動荷重として、定員乗車時軸重に基づき特性値を定める。

具体的には、以下に示すように列車荷重の特性値を定めるのが一般である。

- ・新幹線、電車・内燃動車の場合：定員軸重

$$(\text{地震時列車荷重}) = (\text{定員軸重}) \times (\text{軸数}) / (\text{車両長}) \text{ (kN/m)}$$

- ・機関車 (EA 荷重) の場合：通常の牽引等分布荷重

$$(\text{地震時列車荷重}) = (\text{通常の牽引等分布荷重}) \times 0.7 \text{ (kN/m)}$$

(b) 疲労破壊の照査に用いる列車荷重

疲労破壊に関する安全性の照査は、構造物または部材に実際に生じる応力度に大きく左右されるため、実態と離れた列車荷重で照査すると、設計供用期間等において想定と異なる結果を与えることになる。したがって、列車荷重の特性値は、列車および車両の使用状況に基づき、その変動を考慮して定めている。しかし、当該線区に使用する多種多様な列車および車両のすべてについて疲労破壊に関する安全性の照査を行うことは困難であることから、一つあるいは幾つかの列車および車両に代表させる方法を用いている。

(c) 使用性の照査に用いる列車荷重

走行安全性の照査に用いる列車荷重の特性値は、最大積載を見込んだ軸重により定める。乗り心地に関する使用性の照査に用いる列車荷重は、定員乗車時軸重等に基づき定めるのがよい。

(d) 復旧性の照査に用いる列車荷重

地震時における復旧性の照査に用いる列車荷重は、従たる変動荷重として定員乗車時軸重に基づき特性値を定める。機関車荷重については、通常の載荷重量に基づく牽引等分布荷重として定めることができる。

4.4.6 衝撃^{1), 3)}

列車の走行により構造物には動的な応答が生じるが、これによって発生する応力またはたわみの静的応答に対する増加分の割合を衝撃係数と呼んでいる。構造物の設計は、列車荷重に設計衝撃係数を乗じることにより衝撃荷重として、動力的効果を静的な力に置換して行うのが一般的である。

鉄道橋の衝撃は多くの要因が関与して生じるものであるが、概ね以下の 3 つに大別される。

- ① 連行移動荷重の速度効果
- ② 車両が発生する周期力の効果（ハンマーブロー）
- ③ 軌道および車両の不整に伴う車両動揺の効果

これらの影響に対して、設計標準（平成 4 年版）では、解析および実測結果に基づき、速度パラメータを用いた設計衝撃係数の算定法は、列車荷重体系ごとに定式化されていた¹¹⁾。

しかし、列車の営業速度の向上や、限界状態設計法や PRC 構造の適用などで、設計における剛性の自由度が拡大したことから、それらに対する対応として、設計標準（平成 16 年版）で、新たな設計衝撃係数算定法が導入された。以下に、その概要を示す。

単線を支持する部材の安全性の照査に用いる設計衝撃係数は、式（4.4.2）により算定することとしている。

$$i = (1 + i_a)(1 + i_c) - 1 \quad (4.4.2)$$

ここに、 i : 設計衝撃係数

i_a : 速度効果の衝撃係数

i_c : 車両動揺の衝撃係数

$$i_c = \frac{10}{65 + L_b} \quad (4.4.3)$$

i_a は速度効果の衝撃係数で、式(4.4.4)に示す速度パラメーター α 、車両形式、車両長 L_v 、部材のスパン L_b から求めることができる¹²⁾。

$$\alpha = \frac{v}{7.2n + L_b} \quad (4.4.4)$$

ここに、 α : 速度パラメーター

v : 列車または車両の最高速度 (km/h)

n : 部材の基本固有振動数 (Hz)

L_b : 列車荷重による応力の影響を考慮した部材のスパン (m)

なお、部材の基本固有振動数は、部材の振動特性と境界条件に応じて設定する必要がある。ラーメン高架橋では、表4.4.5に示すよう取扱われている。

表 4.4.5 ラーメン高架橋各部材の固有振動数の算定に用いるスパン¹³⁾

算定部材		固有振動数算定スパン L	算定理論式
縦梁		柱軸線間縦梁スパン	両端固定梁式
横梁		柱軸線間横梁スパン	両端固定梁式
片持スラブ・片持梁		純張出部分スパン	片持ち梁式
径間スラブ	長辺/短辺 ≤ 3.0	スラブの純スパン	四辺固定スラブ式
	長辺/短辺 > 3.0	スラブの純スパン	両端固定梁式

なお、列車の動力的効果に関しては、理論解析法は既に確立されており、幾つかの橋梁で既に実設計に供されてはいる^{14), 15)}。

したがって、上記手法は、以下の場合については適用できないので、車両と構造物の動的相互作用が考慮できる解析法¹⁶⁾を適用するなど、別途検討を行う必要があることに留意する必要がある。

- ① 構造物または部材の減衰定数が小さい場合
- ② 列車および車両の軸配置が、設計標準で規定された簡易法の解析条件と大きく異なる場合
- ③ 斜張橋などの高次不静定構造物で、部材ごとに動的特性が異なり単純梁で近似するのが困難な場合

4.4.7 遠心荷重^{1), 3)}

遠心荷重は、曲線部で車両に生じる遠心力をモデル化した荷重であり、車両の重心に水平力として働く。載荷する方向は、軌道に直角な方向とするのが理論的であるが、載荷位置によって橋軸となす角度を変えることは計算上煩雑となり、計算結果もあまり変わらないので、一般には橋軸に対して直角であるとして計算してよいこととしている。ただし、非対称に軌道が配置されるような場合には、橋軸方向にも分力が生じるので注意を要する。

なお、設計標準では、遠心荷重の特性値は、列車荷重の特性値に、式(4.4.5)により算定される遠心荷重係数 α_c を乗じた値としている。

$$\alpha_c = \frac{v^2}{127R} \quad (4.4.5)$$

ここに、 α_c : 遠心荷重係数

v : 曲線における列車または車両の最高速度 (km/h)

R : 曲線半径 (m)

4.4.8 車両横荷重・車両横圧荷重^{1), 3)}

車両横荷重は、車両の横振動およびヨーイング振動等の車両の振動により発生するものである。なお、設計標準では、車両の振動による横荷重は、一般に、式(4.4.6)により与えられるとしている。

$$L_F = \frac{\alpha_1}{g} W \quad (4.4.6)$$

ここに、 L_F : 車両横荷重

W : 1台車当たりの車両重量

g : 重力加速度 (9.8m/s²)

α_1 : 台車中心における車両の片振幅左右振動加速度 (単位: m/s²)

4.4.9 制動荷重・始動荷重^{1), 3)}

列車が構造物上で制動または始動を行うと、その慣性力に対する反力として線路方向の力が車輪からレールに働き、さらにレールから桁に伝えられる。これを、制動荷重・始動荷重と呼んでいる。

なお、この力は車輪とレールの間の粘着力を超えることはないので、粘着力と軸重との比、すなわち粘着係数が制動荷重および始動荷重の目安となる。

4.4.10 ロングレール縦荷重^{1), 3)}

構造物上にロングレールがある場合、構造物とロングレールとは温度変化に対する伸縮量が異なるため、レールと締結装置との間などに摩擦力が生じ、この反力が構造物に働く。照査においては、この力をロングレール縦荷重として考慮する必要がある。ロングレール

縦荷重は、温度変化に起因した作用であるため、構造物の温度変化の影響と同時に考慮される。

なお、ロングレール縦荷重は、レールの締結力や、軌道構造の種類、軌道構造と構造物の接続方法によって異なるため、従来と異なる締結力を有する締結装置を用いた場合や、堅固な軌道構造と構造物の接続方式の場合は、その影響を検討する必要がある。

4.5 コンクリート構造の挙動と限界状態

構造物の要求性能に対する照査は、要求性能に対応した限界状態の限界値と応答値の関係をj用いて、式(4.5.1)により行われる。

$$\gamma_i \cdot I_{Rd} / I_{Ld} \leq 1.0 \quad (4.5.1)$$

ここに、 I_{Ld} : 設計応答値

I_{Rd} : 設計限界値

γ_i : 構造物係数

この限界状態は、コンクリート構造物の物理的な挙動との関係で定まるものである。

鉄筋コンクリート構造の物理的な挙動は、その破壊形態によって異なるが、曲げ破壊形態を有する場合と、せん断破壊形態を有する場合の、荷重と変位の関係のイメージを図4.5.1に示す。図には、鉄筋コンクリートの材料特性に着目した現象も合わせて示している。

限界状態の設定にあたっては、鉄筋コンクリート構造の剛性、材料の応力度、ひび割れや破壊など材料特性の変化などの現象を反映させる必要がある。

設計標準で規定されている要求性能に対する限界状態と、コンクリート構造の挙動の関係のイメージを図4.5.2に示す。

照査に当たっては、限界状態の照査は、常に図4.5.2に示すような鉄筋コンクリート構造の物理的特性との関係性を認識しておく必要がある。このことは、照査結果によって、実構造物の供用時の挙動を推定できることを意味しており、限界状態設計法を照査法として用いることの優位な点の一つと考えることができる。

なお、図4.5.1に示した鉄筋コンクリート構造の挙動のイメージは、有害な初期ひび割れや材料劣化が生じていない、いわゆる健全な状態であることが前提となる。仮に、環境作用により材料劣化が生じた場合には、鉄筋の腐食によるコンクリートのひび割れ、コンクリートと鉄筋の付着の低下などにより、図4.5.1に示す挙動が変化することになり、その場合には、初期ひび割れや材料劣化などの影響を考慮して応答値や限界値を算定することが必要になる。

実際の照査においては、時間軸の影響を考慮した方法として、図4.5.3に示すような2つの方法がある。

構造物の性能照査において、常に時間軸を考慮して行うことは理想であるが、その種の技術は発展途上であるという現実もある。そこで、設計標準では、設計耐用期間中に、図4.5.1に示した健全な状態での鉄筋コンクリート構造の挙動を担保できるように、環境作用に対する材料劣化抵抗性を一定レベルに制御することを目的として、10章の耐久性の検討が規定されている。

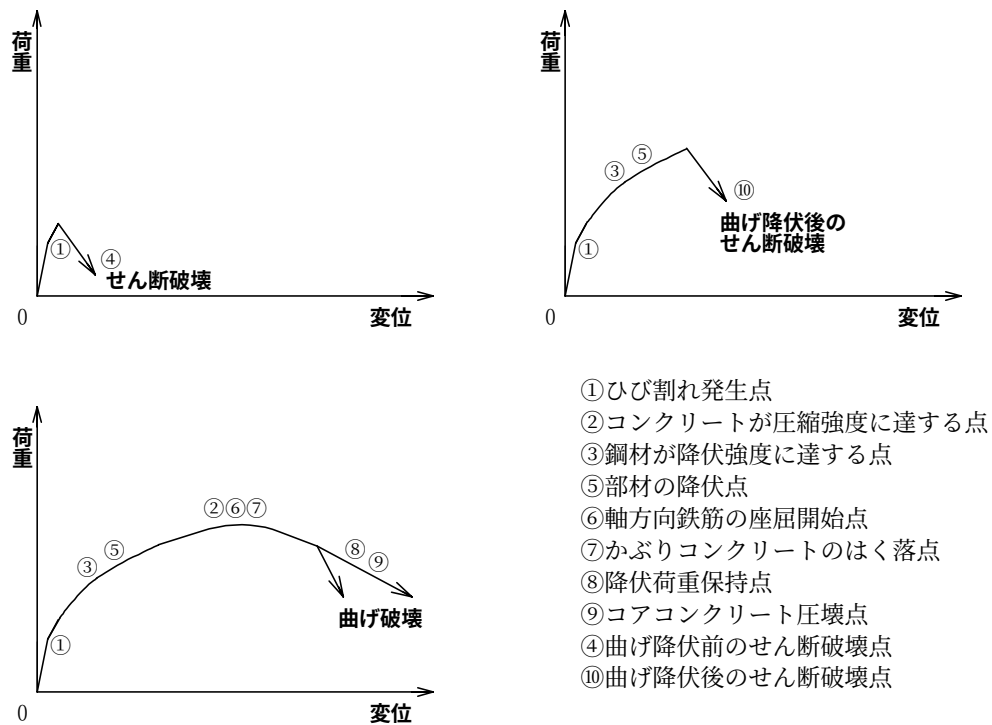


図 4.5.1 棒部材の破壊形態と荷重-変位関係の包絡線¹⁾

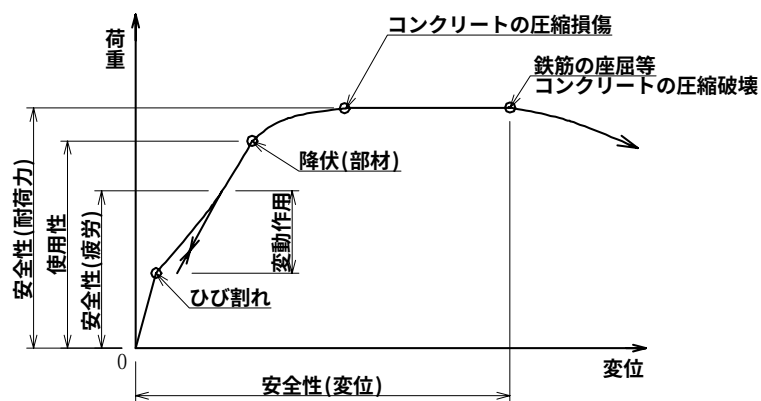


図 4.5.2 要求性能と鉄筋コンクリート構造の挙動の関係のイメージ

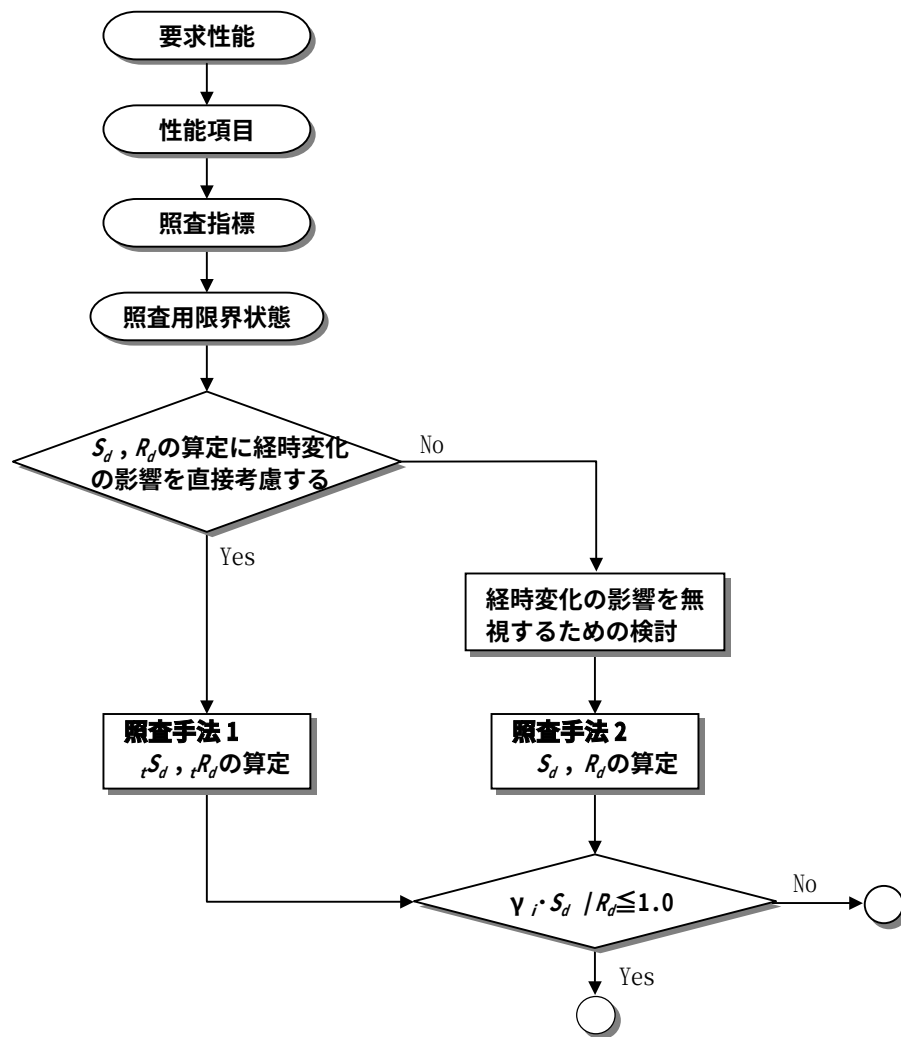


図 4.5.3 照査の流れ（経時変化の影響の取扱い）

参考文献

- 1) 丸善：鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成 16 年 4 月
- 2) 日本国有鉄道：建造物設計標準解説（鉄筋コンクリート構造物および無筋コンクリート構造物，プレストレストコンクリート鉄道橋），昭和 58 年 2 月
- 3) 丸善：鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物），平成 4 年 10 月
- 4) 土木学会：昭和 61 年制定 コンクリート標準示方書〔設計編〕，昭和 61 年 10 月
- 5) 土木学会：2009 年制定 複合構造標準示方書，2009.12.
- 6) 丸善：鉄道総合技術研究所編 鉄道構造物等設計標準・同解説（変位制限），平成 18 年 2 月
- 7) 涌井 一，渡辺忠朋：鉄道建造物設計標準〔コンクリート構造物〕（案）の要旨，鉄道総研報告，第 5 巻，第 9 号，1991.9.
- 8) 土木学会：コンクリートライブラリー70 号，コンクリート標準示方書（平成 3 年版）改訂資料およびコンクリート技術の今後の動向，平成 3 年 9 月
- 9) 佐藤 勉，寺田年夫：コンクリート構造物の信頼性設計，鉄道総研報告，第 3 巻，第 7 号，1989.7.
- 10) 森田英男，八巻一幸，古谷時春：新幹線列車荷重の特性値について，土木学会第 45 回年次学術講演会概要集第 1 部，pp.706-707，1990.9.
- 11) 涌井 一，松本信之，渡辺忠朋：コンクリート鉄道橋の設計衝撃係数，鉄道総研報告，Vol.2，No.9，pp.16-23，1988.
- 12) 曾我部正道，松本信之，藤野陽三，涌井 一，金森 真，宮本雅章：共振領域におけるコンクリート鉄道橋の動的設計法に関する研究，土木学会論文集，No.724/ I -62，pp.83-102，2003.
- 13) 財団法人鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説（コンクリート構造物）性能照査の手引き，平成 16 年 11 月
- 14) 曾我部正道，松本信之，涌井 一，金森 真，椎本隆美：PC 斜張橋（北陸新幹線第 2 千曲川橋梁）の衝撃係数・列車走行性に関する研究，構造工学論文集，Vol.44A，pp.1333-1340，1998.
- 15) 光木 香，保坂鐵矢，松浦章夫，市川篤司，松尾 仁：ゴム支承を用いた連続合成桁の高速車両走行性に関する研究，土木学会第 52 回年次学術講演会，1997.
- 16) 曾我部正道，松本信之，田辺 誠，藤野陽三，涌井 一，上野 眞：超電導磁気浮上式車両とガイドウェイ構造物との動的相互作用に関する応答予測と振動低減，土木学会論文集，No.731/ I -63，pp.119-134，2003.