断面力としては曲げモーメントが支配的となる。しかし吊橋の塔や高層建築での下層部の柱部材では圧縮力も大きくなってくる。

大きな河を渡る橋や都市内高架橋では図3－16に示すように桁が連続して橋を構成している。それらには，単純桁が連続した場合(a)と，桁を橋脚上で連続的に一体化した場合(b)がある。後者は連続桁と呼ばれるが，一体化することにより，断面内に生じる曲げモーメントの最大値は小さくなる。したがって連続桁とすることにより，支間を長くすることや，スレンダーな桁断面とすることが可能となる。

近年中支間から長支間の橋でしばしば使われる斜張橋は，連続桁を基本形とし，その中間点をケーブルにより弾性的に支持するとともに，さらにケーブルに引張力を導入することにより桁にも軸力を入れ，桁の応力分布を改善したものである。

長大橋に適した吊橋は，軸力部材であるケーブルにすべての荷重をかける型式であり，吊橋では鋼の有する高い引張強度を十分に利用した構造である。ケーブルの強度上昇がそのまま長支間化につながることが容易に理解できるであろう。

参考文献

1) 土木学会編「第四版土木工学ハンドブック」技報堂出版，1989年
2) 西野文雄・長谷川彰夫「構造物の弾性解析」技報堂出版，1983年
3) F. P. Beer and E. R. Johnston Jr., Vector Mechanics for Engineers, McGraw-Hill, 1984.
4) 町田篤彦編「現代土木材料」オーム社，1990年

4

構造物に作用する外力

4.1 荷重の種類

構造物には自動車や列車あるいは群衆のような上載荷重，風，地震，波のような自然環境による力など，さまざまな外力が作用する（図4－1）。構造物の安定，不安定や変形，強度に関わる外力を荷重と呼ぶ。荷重は構造物に対して，さまざまな方向から，一定の位置あるいは移動しながら，その寿命中ほぼ一定の強さで，あるいはある瞬間のみ作用する。構造物はその寿命中に受けることが予想される荷重の種類，強さ，および応答を予測し，それぞれの生じる確率を考慮して，安全にかつ経済的に設計されなければならない。

4.2 荷重の性質

(1) 死荷重

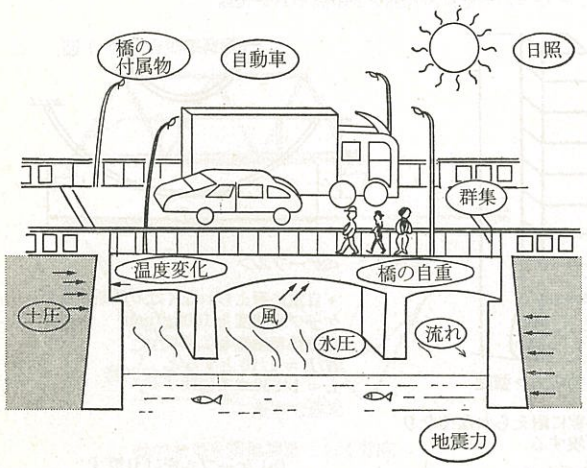


図4－1 構造物に作用する外力

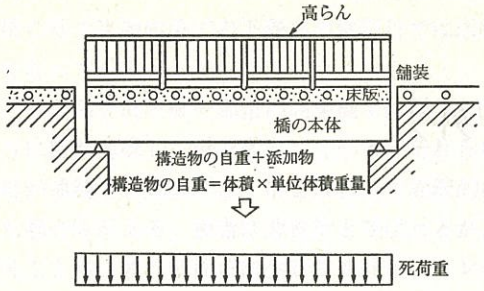


図4-2　死荷重

死荷重は構造物自身および添加物の重さであり(図4-2)，構造物の寿命を通じてその大きさ，作用する位置ともほとんど変動することのない荷重である。構造物ではその規模が大きくなるにつれて，死荷重により生じる応力の占める割合が大きくなる。図4-3(a)に示すように，ブロックを積み上げその高さをどんどん増していくと，最下層がそのうちに自重に耐えられなくなり，破壊する。2点間にケーブルをはり渡す場合(図4-3(b))も支持点に生じる応力が強度を超える条件でその可能な長さが決まる。

構造物の自重はすべての設計計算が終了した時点で確定するものであり，そのため設計をスタートする時点では死荷重は未知である。したがって，通常，過去の経験

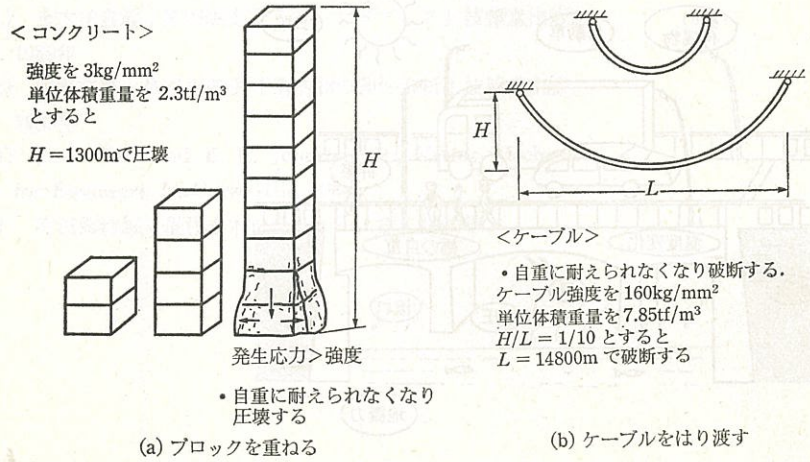


図4-3　死荷重で構造物の大きさの限界が決まる例

から自重を推定し，それを設計値として設計計算を進め，最終的な設計結果とあまり食い違ったらやり直すといったことを行う。

(2)　活荷重

活荷重は道路橋では自動車荷重，鉄道橋では列車荷重，歩道橋では群衆荷重のような，構造物が本来支持することを目的としている荷重である(図4-4)。自動車や列車はその種類，型式，大きさ，重さはまちまちであるが，設計ではそれを単純化した荷重を用いている。たとえば日本の道路橋では20tonトラックを基本とし，それをモデル化した線荷重と分布荷重を設計荷重としている(図4-6)。

自動車や列車が高速で走行すると，ゆっくりと通過したときより大きい荷重作用をおよぼす(図4-5)。このいわゆる動的効果は路面の凸凹，車両の高速走行による強制振動，車両の上下動の影響など，多くの原因によるが，設計ではそれを衝撃荷重として考慮している。

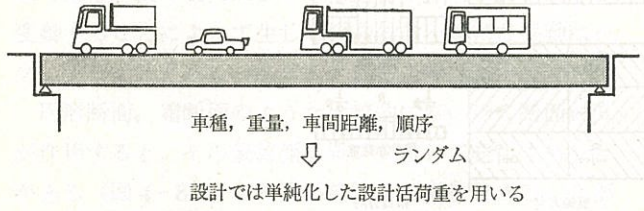


図4-4　自動車荷重

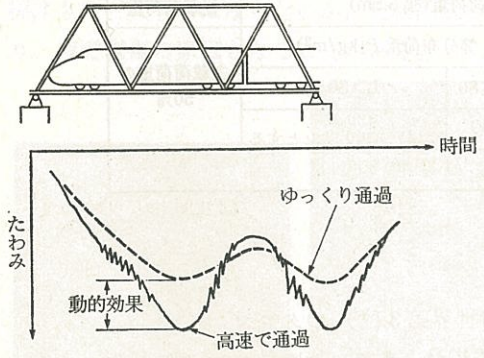
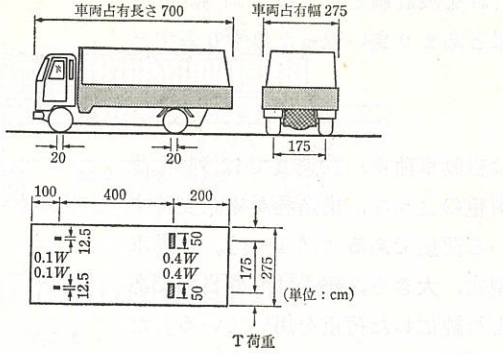
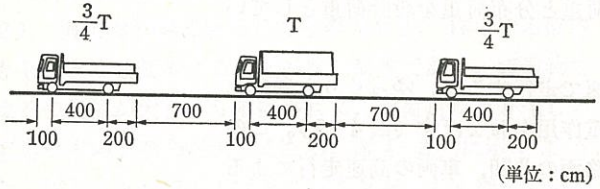
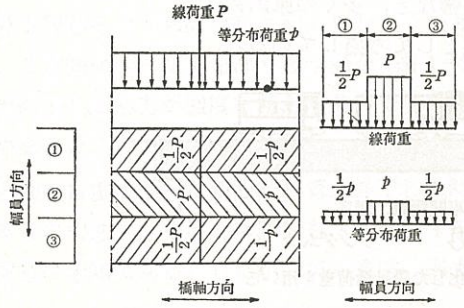


図4-5　活荷重の動的効果







橋の等級	荷　重	主載荷荷重(幅 5.5m)			従載荷荷重
		線荷重 P(kg/m)	等分布荷重 P(kg/m²)		
			L≦80	L>80	
1等橋	L-20	5,000	350	430-L, ただし 300 以上とする	主載荷荷重の 50%
2等橋	L-14	1等橋の 70%			

L: 支間 (m)

図 4－6　道路橋の設計荷重

(3)　風の影響

1940年，中央支間 853m（当時世界第 3 位）のタコマナロウズ橋が開通後 4 ヶ月で落橋したように，特に吊橋や斜張橋のような長支間の橋はフレキシブルで，風に対して入念な設計が必要となる。

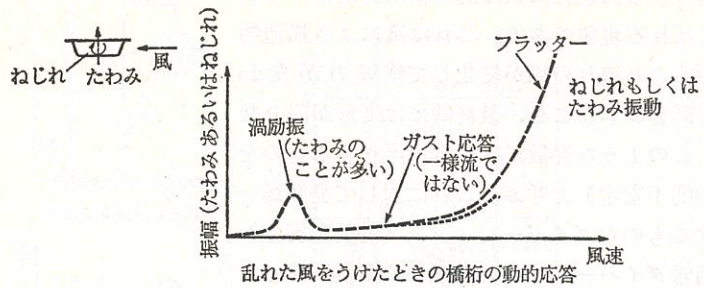


図 4－7　風の動的作用

風はその方向，強さが空間的，時間的に変動し（これを風の乱れという），このような風に対する構造物の応答も複雑である（図 4－7）。風圧により構造物は変形させられ，応力が生じる。また場合によっては変形によりますます作用する空気力が大きくなり，変形が発散することがある。

特に注意しなければならないのは風による動的応答現象である。風の乱れによって構造物に作用する空気力が変動することによって生じる構造物の不規則な振動はバフェッティングあるいはガスト応答と呼ばれる。

円形断面，箱断面のような比較的にぶい形の断面に風が作用すると，その後流側に渦が交番して発生することがある（図 4－8）。この渦が起因して構造物あるいは部材に振動が生じる現象を渦励振と呼ぶ。この渦励振の振幅はさほど大きくはならないが，比較的低い風速でおこり，疲労損傷の原因となることがある。

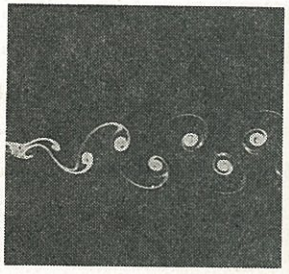


図 4－8　円柱後方のカルマン渦[3]

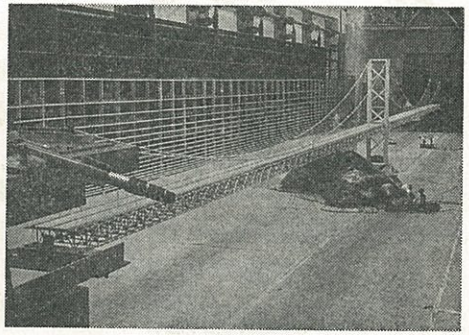


図 4－9　風洞試験

動的な作用のうち構造物に致命的な結果を及ぼすのが自励振動とよばれる現象である。これは風により構造物に生じた変形により流れの場が変化して空気力が変わり，さらに変形をひき起こし，最終的には変形が限りなく増大する。このような発散が振動的に進行するものをフラッタ（動的不安定）と呼ぶ。これに対して発散が一方的に進行するものをダイバージェンス（静的不安定）と呼ぶが，通常ダイバージェンスを生じる限界風速はフラッタを生じる限界風速より高いので，フラッタの防止を配慮すれば十分なことが多い。

自励振動，渦励振，ガスト応答により風安全性が懸念されるような長スパンの橋，吊形式の橋などでは風洞実験でその耐風応答特性が調べられ，断面形状等が検討される（図4－9）。通常の構造物では，風の作用を静的荷重におきかえた風荷重に対してその安全性が照査される。

(4) 地震の影響

我国は世界でも地震の頻発地域に位置しており，構造物の設計において耐震性の確保が重要となることが多い。我国の場合，構造物に被害を及ぼすような大地震はプレートと呼ばれる厚さ70～100km地殻が秒速2km以上の急速な破壊を生じながら移動することにより生じる（図4－10）。このようにして発生した地震波は伝播して表層地盤に達する。その結果，地盤は激しく震動し，構

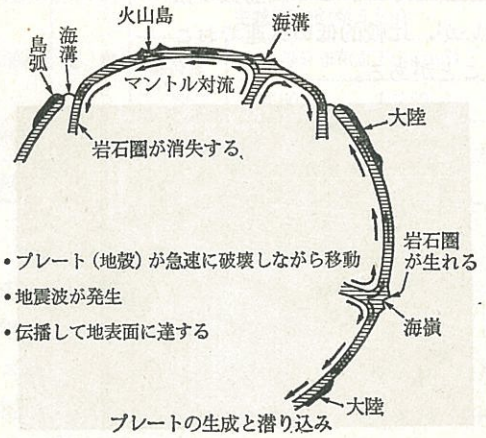
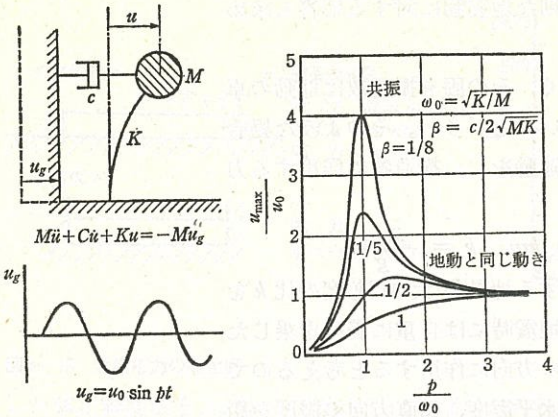


図4－10　地殻の移動による地震の発生[1]



(a)　1自由度振動モデル　　(b)　単振動地動による1自由度振動モデルの相対変位振幅

図4－11　1自由度振動モデルの応答

造物も振動する。このとき構造物には慣性力が作用する。したがって構造物に作用する地震力を正確に評価するためには，地盤の震動とともに構造物の動的応答も精度良く求めなければならない。また地盤自身が震動により液状化などの変状をおこし，構造物を支えられなくなることもある。

地盤の震動が構造物に与える影響をみるために，最も単純な図4－11(a)の質量M，減衰定数C，バネ定数Kなる1自由度振動モデルを考える。このモデルに地動加速度u_gが作用したときの運動方程式はuを地盤との相対変位とすると次式のようになる。

$$M\ddot{u}+C\dot{u}+Ku=-M\ddot{u}_g \qquad (4.1)$$

地動が$u_g=u_0\sin pt$なる単振動の場合について式を解くと図4－11(b)のような応答曲線が得られる。ここに$w_0=\sqrt{K/M}$はモデルの非減衰固有円振動数，$\beta=C/2\sqrt{MK}$は減衰定数である。

$p/w_0 \ll 1$なる固有振動数の極めて高い構造では$u_{max}\rightarrow 0$となり地動と同じ動きをし，逆に$P/w_0 \gg 1$なる場合は$u_{max}\rightarrow u_0$となり，外乱の振動数が固有振動数に近いと共振を起こして構造物には大きな変形が生じる。構造物を表現するためには多自由度の振動モデル等

が用いられ，それの不規則な地震動に対する応答も求めることができる。

土木構造物は剛性が高く，その固有振動数は地動の卓越震動数に対して十分高いことが多い。そのような場合は，構造物は地盤と同じ運動をし，構造物に作用する力の最大値は

$$P_{max} = m\ddot{u}_{max} = kw, \quad k = \frac{\ddot{u}_{max}}{g}$$

ここで重力加速度に対する地動最大加速度の比 k を震度と呼ぶ。すなわち，地震時には自重に震度を乗じたみかけの静的荷重が地動の方向に作用すると考えるのである。水平方向の震度を水平震度，鉛直方向の震度を鉛直震度と呼び，後者は前者の 1/2 程度である。このように地震の影響を静的荷重におきかえる設計法は震度法と呼ばれており，今まで多くの構造物に適用されてきた（図 4－12）。また構造物の運動の最大加速度と地動の最大加速度との間には応答倍率分の差があり，それを補正

構造物に作用する力の最大値

$P_{max} = kw$　k：震度，W：自重

水平方向の震度は

$k_h = c_z \cdot c_c \cdot c_I \cdot c_T \cdot k_0$

ここに，

k_h：設計水平震度（小数点以下 2 けたに丸める）

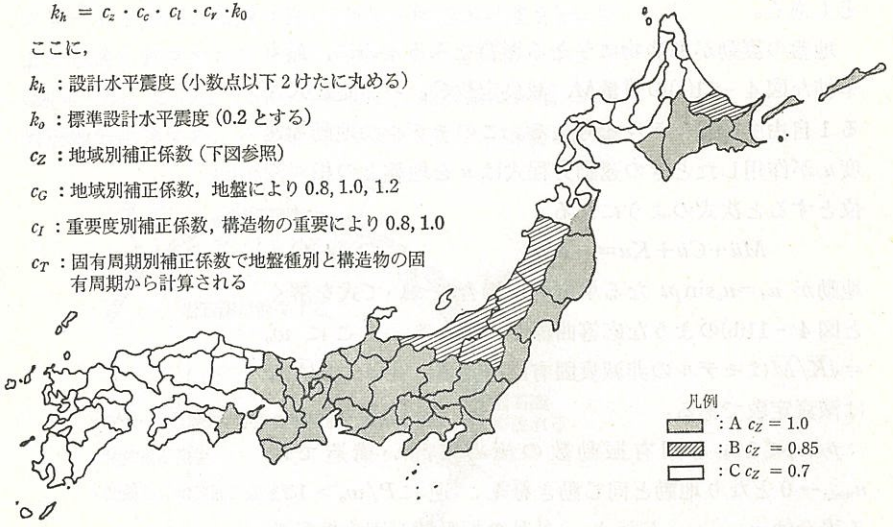
k_0：標準設計水平震度（0.2 とする）

c_Z：地域別補正係数（下図参照）

c_G：地域別補正係数，地盤により 0.8, 1.0, 1.2

c_I：重要度別補正係数，構造物の重要により 0.8, 1.0

c_T：固有周期別補正係数で地盤種別と構造物の固有周期から計算される



地域区分と地域別補正係数

図 4－12　震度法による耐震設計

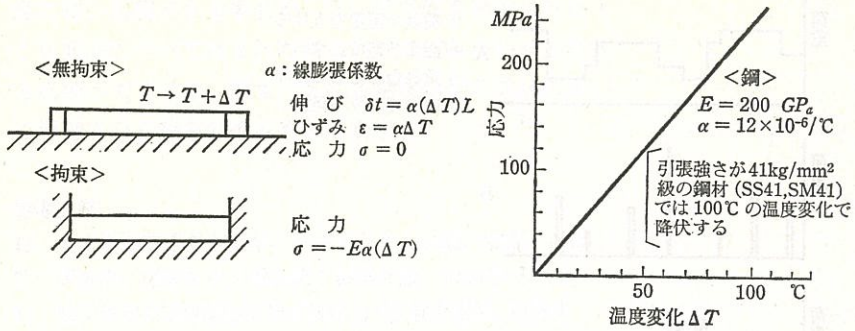


図 4－13　温度応力の発生図

した修正震度法とよばれる方法もしばしば用いられる。

(5)　温度の影響

構造物は気温の変化，日射によって温度の変化をうける。直射日光をうける鋼構造物では60℃程度まで上昇することもしばしばである。図 4－13 に示すごとく，構造物が全く自由に変形できるなら温度変化によって応力は生じない。しかし構造物や部材は何らかの形で拘束されており，大きな応力が生じることがある。そのためにジョイントを設けるなど温度応力を小さくする工夫や温度応力に耐えられる構造をとっている。

4.3　荷重の組み合わせ

構造物はその長い供用期間中に同時に異なる種類の荷重をうける可能性があり，当然，設計時あるいは安定性を評価する際にそれらの組み合わせを考慮しなければならない（図 4－14）。しかしすべての荷重が同時に作用すると考えることは非現実的であり，また極めて不経済な構造物を設計することになる。当然発生事態がまれな荷重同士の組み合わせ，たとえば地震と強風との組み合わせを考えるとき，それらが同時に作用するという確率は無視し得るほど小さく，設計ではこのような組み合わせを照査しないのが通常である。

従来より，経験に基づいてある種の荷重の組み合わせは考慮しないとか，ある種の外的作用に対しては安全率を低減するといった処理をとってきた。ただし，荷重同

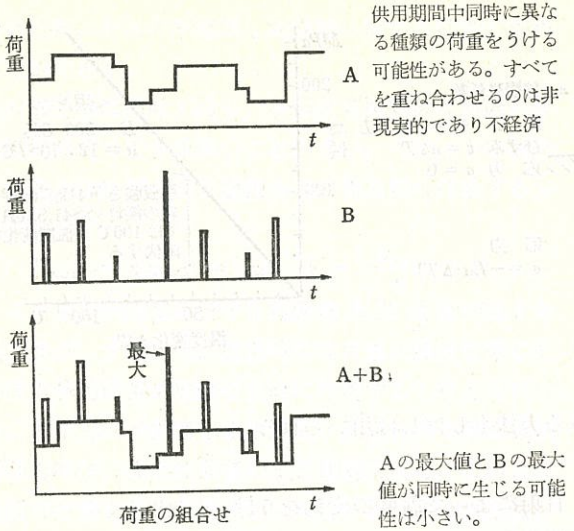
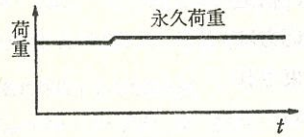
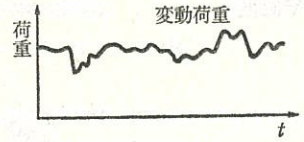
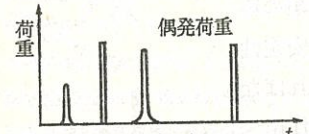


図4－14　荷重の組み合わせ[2)]







時間的変動による荷重の分類

荷重組合せ照査の必要度の目安

	永久荷重	変動荷重	偶発荷重
永久荷重	○	○	○
変動荷重	○	○	△
偶発荷重	○	△	×

(注)　○：組合せ照射必要，　△：荷重の特性によっては組合せ照射必要，
×：組合せ照査必要なし

図4－15　荷重組み合わせの考え方[2)]

志に強い相関がある場合や，高い安全性を要求されるような施設についてはまれな荷重同志の組み合わせも考える必要がでてくる。図4－15に各種構造物の設計において考慮される荷重の組み合わせを示す。

参考文献

1)　土木学会編「土木工学ハンドブック」11編，22編，29編
2)　伊藤学，尾坂芳夫「設計論」彰国社版，1980年
3)　種子田定俊「画像から学ぶ流体力学」朝倉書店，1988年
4)　「道路橋示方書・同解説」日本道路協会，1990年

5

構造物の設計・工事・管理

5.1 設計のプロセス

土木構造物は図5－1に示すようなプロセスにより計画，設計され，完成，供用に至る。供用後は，必要とされる期間（寿命），健全にその目的を達成できるよう適切に管理される。土木構造物の寿命は非常に長く，50年，100年，大規模なあるいは重要な構造物ではそれ以上の供用が期待される。構造物の計画・設計においては工事中も含めた構造物の安全性，機能面からの使用性，長期間の供用に耐えるような耐久性と保守管理性，建設

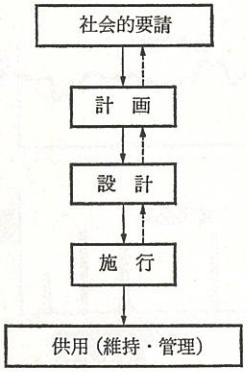


図5－1　土木施設完成までの過程

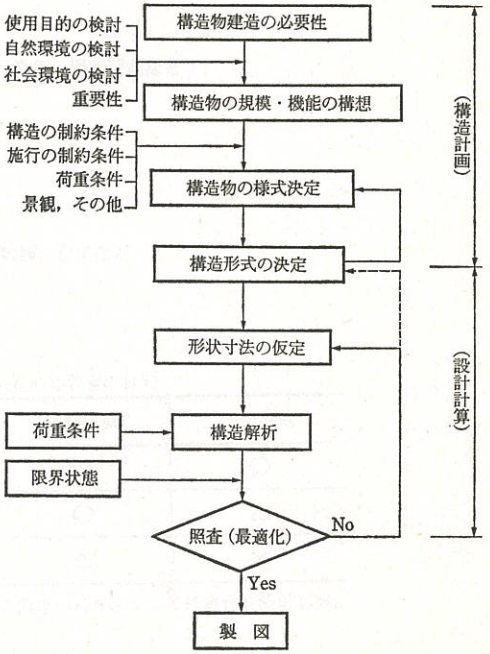
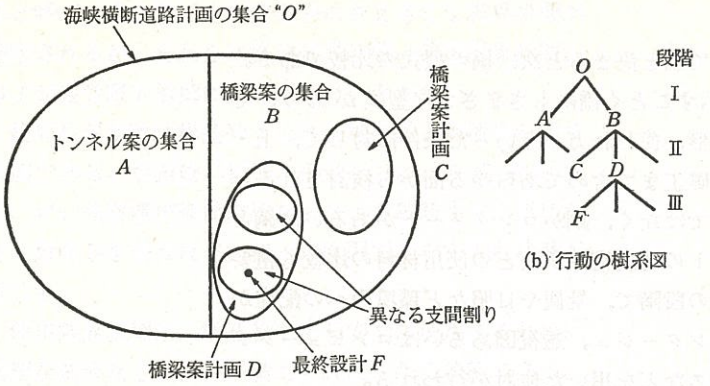


図5－2　構造設計のプロセス[3]



(a) 比較設計案の集合

図5－3　多段階決定過程としての設計[3]

費，維持費，危険補償費，便益まで含めた経済性など幅広い面からの評価が行われる。さらに，構造物が自然や都市の景観を構成する重要な要素であり，また，多くの構造物が歴史的な遺産として長く愛されている事実からも，美観，景観とよばれる視覚的適合性も重要な項目である。

図5－2に構造物の計画，設計の具体的なプロセスを示す。設計の第1段階は構造物の様式の決定である。港湾地域や海峡部などで，航路を横断する道路や鉄道では，しばしば橋とトンネルの比較が行われ，建設，管理まで含めた経済性，施工性，景観等から検討される（図

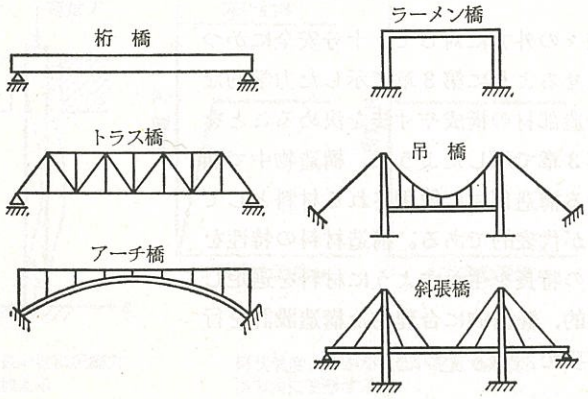


図5－4　橋の構造型式による分類[1]

5－3）。

第1段階で橋と決まると次は橋の型式の比較である。図5－4に示すごとく橋にもさまざまな型式があり，その規模，地形，使われ方，といった条件に対して，上・下部工，基礎工まで含めてあらゆる面から検討される。橋の形のみではなく，鋼かコンクリートかあるいは鋼とコンクリートの合成構造かなどの使用材料の比較も重要である。この段階で，景観や日照など環境面への配慮からフォトモンタージュ，透視図あるいはコンピュータグラフィックスなどを用いた検討が行われる。

次の段階では荷重条件を設定し，設計計算に入る。施工方法も設計に影響をあたえることがあるので，この段階で決定しておく必要がある。設計計算は示方書や基準類に従って行われる。構造物あるいは構造部材各部に生じる応力とその強度の関係が適切なバランスを有するように，通常，繰返し計算が行われることになる。設計計算の結果は最終的には図面で表現される。

最近では以上のような設計にCAD（Computer-Aided Design，コンピュータ支援設計）システムが用いられることがある。CADシステムはコンピュータと入出力装置からなっており，対話型処理を中心に各種のシステムが実現しつつある。

5.2　構造物の限界状態と安全性の評価

第4章で示した様々の外力に対して，十分安全にかつ経済的に機能をはたせるように第3章で示した力学的な検討から構造物，構造部材の構成や寸法を決めることを構造設計という。第3章で示したように，構造物中で強度を期待するいわゆる構造部材に使用される材料としては鋼とコンクリートが代表的である。構造材料の特性を十分配慮し，それらの特長を生かすように材料を選定していくことが，力学的，経済的に合理的な構造設計を行う上で最も重要な事項である。

(1)　限界状態

構造物がその本来機能を果たせなくなる状態を限界状態と呼ぶ。構造物はその寿命中にさまざまな限界状態が想定されるが，それらは終局限界状態，使用限界状態，および疲労限界状態に大別されることが多い。

終局限界状態は構造物または部材の最大耐荷力を示す状態である。構造物が転倒，滑動などにより安定を失う，ぜい性破壊や延性破壊などにより破断する，座屈により耐荷力を失うなど，様々な原因でこのような状態が生じる。

使用限界状態は，構造物を十分安全に使用するために必要な変形などの条件が満たされなくなる状態である。安定を失う，あるいは破壊には至らないが，正常な状態で使用するには変位が過大であるとか，振動が過大で不安の念を抱かせるとかの状態である。

疲労限界状態は交通荷重，波浪，風などの繰返し外力により疲労亀裂が発生進展する状態である。疲労は設計段階での照査に加えて，維持・管理での最も重要なチェック項目である。

(2)　鋼構造物の特徴と限界状態

鋼構造物の特徴としては次のようなことが挙げられる。

(i)　降伏点までは線形弾性体であり，しかも降伏後破断まで大きな伸び能力を有する。

(ii)　引張，圧縮，せん断に対して高い強度を有する。

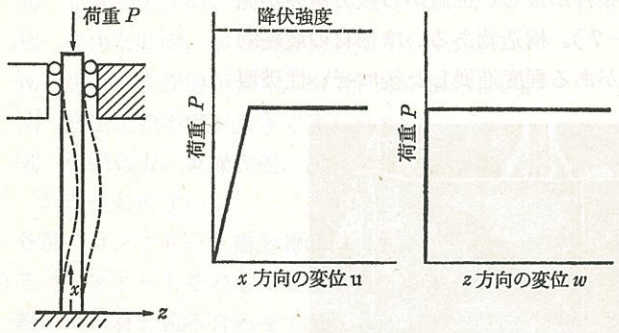


図5－5　細長い柱の座屈

したがって薄くて軽い構造とすることができ，大規模構造物が可能となる。

(iii) 薄い鋼板で組立てられているため，座屈のおそれがある。

(iv) 繰り返し荷重により疲労が生じるおそれがある。

(v) 腐食に対する防護が必要である。

鋼構造物の終局限界状態としては，まず2章で示した部材の降伏あるいは破断である。部材，溶接継手部，ボルト，ケーブルなど各部が引張，せん断およびその組み合わせ荷重について照査される。

鋼構造物に特徴的な終局限界状態である座屈とは，図5-5に示すごとく，細長い柱に圧縮力Pを増していくと，最初はまっすぐな状態のまま軸方向に縮むが，ある荷重に達したとき，柱は突然横方向に曲がってしまう不安定な現象である。座屈は軸力をうける柱だけではなく，曲げをうけるはり部材，圧縮と曲げをうける部材などで部材全体あるいは部材のある一部に，いろいろなモードで生じる（図5-6）。座屈はいったんおこれば荷重が増加せずに変形だけが増加するため非常に危険な現象といえる。材料の強度が高いだけに細長くなりがちな鋼構造部材では耐荷性能を支配するこの座屈が最も注意すべき現象である。

鋼構造物に外力が繰り返し作用すると，応力集中部や溶接欠陥などの応力条件が厳しい位置から疲労亀裂が発生し進展する（図5-7）。構造物あるいは部材の最終的な破断は，疲労亀裂がある程度進展した後にぜい性破壊

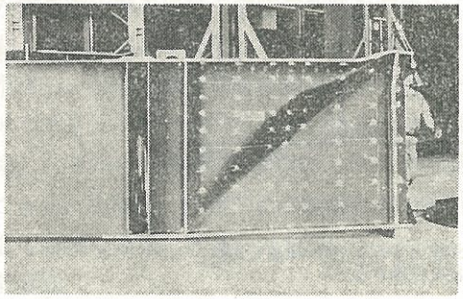


図5-6 プレートガーダーの座屈試験

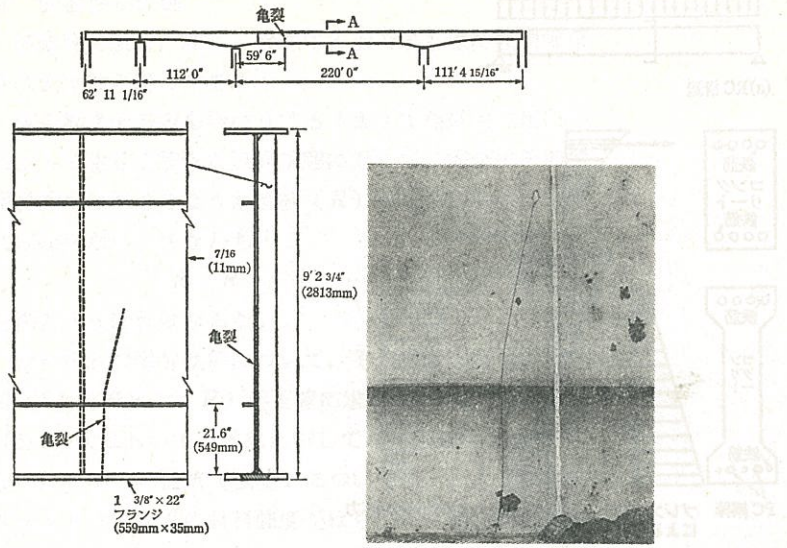


図5-7 アメリカ Quinnipiac River 橋に発生した疲労損傷

あるいは断面減少による不安定破壊により生ずる。

(3) コンクリート構造の特徴と限界状態

コンクリートを構造材料として見たとき，次のような特徴が挙げられる。

(i) 圧縮強度は高いが引張強度は圧縮強度の1/10程度と非常に低い。

(ii) 重量が大きい。

(iii) 自由な断面，形の構造物を作りやすい。

(iv) 現場での作業が多く，施工管理が煩わしい。

(v) 施工上の不備が大きく現われやすい。

(vi) 引張応力，乾燥収縮，温度変化などによりひびわれが生じやすい。

各種のコンクリート構造物は，無筋コンクリート呼ばれるコンクリートそのものでつくられる場合もあるが，一般には鋼材と組み合わせて図5-8に示すようなRC構造あるいはPC構造として使用する。これはコンクリートが引張力に対して非常に弱いことを補うためである。

(a) 鉄筋コンクリート（RC）構造：圧縮コンクリー

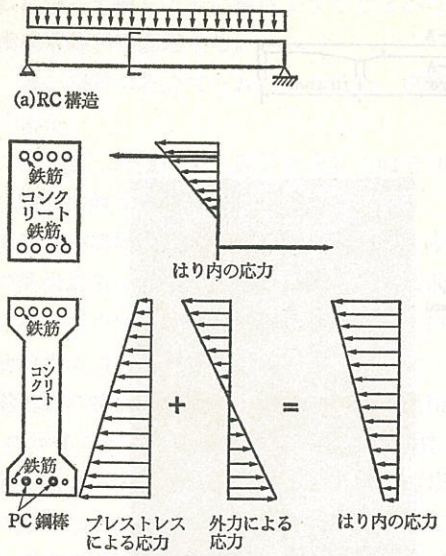


図5-8　RC および PC 構造

ト，引張力には鉄筋で抵抗する構造で，最も一般的に用いられているコンクリート構造である。RC構造に，さらに鉄骨で補強した構造を鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）と呼び，大型構造物等で用いられることがある。

(b)　プレストレストコンクリート（PC）構造：高強度の鋼材（ピアノ鋼線）でコンクリートを締付けることにより，あらかじめコンクリート中に圧縮応力を生じさせておき，荷重により生じる引張応力とあわせてもひびわれが生じない，あるいはひびわれを有害でない大きさでコントロールするようにした構造で，長支間の橋梁，圧力容器，枕木，パイルなどに使われている。

コンクリート構造に特有の終局限界としては，塑性変形やクリープ，ひびわれなどにより変形が大きくなる状態があげられる。また，ひびわれにより美観を害したり，耐久性や水密性を損ねたりするのは使用限界の1つである。

(4)　安全性の評価

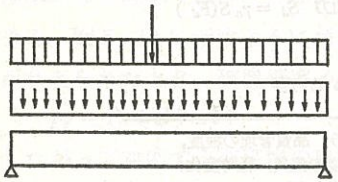
構造物を設計，施工，管理する上で最も重要な要求条件は安全性の確保である。

構造物はその寿命中にうけるさまざまな外力作用（S）によって生じる様々な限界状態に対して，安全にその使用目的をはたせるような抵抗（R）を有したものでなければならない。すなわち

$$S < R \quad \cdots\cdots (5.1)$$

を満たさなければならない。

それぞれの限界状態について，その原因となる外力作用（S）と抵抗力（R）が正確に求まるのであれば，(5.1) 式において，SにたいしてRは余裕は必要としない。しかし，抵抗（強度）については，たとえば鋼やコンクリートなどの材料強度がばらつく，製作時に断面寸法に誤差が入ったり変形したりする。あるいは強度計算には数々の仮定が含まれているなど，ばらつきの原因を含んでいる。外力作用についても，設計荷重は多くの場合，単純化あるいはモデル化したものであり，しかも，



死荷重により生じる応力 σ_D

活荷重により生じる応力 σ_L

衝撃荷重により生じる応力 σ_I

$\sigma_D + \sigma_L + \sigma_I < \sigma_a$

構造用鋼材の許容応力度（道路橋示方書）

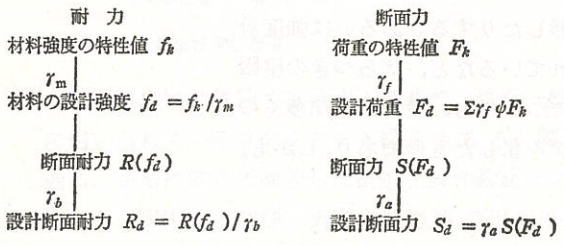
鋼　種	基準強度(降伏点) kgf/mm²	許容応力度 kgf/mm²	安全率
SS41,SM41	24	14	1.71
SS50,SM50	32	19	1.68
SM50,SM53	36	21	1.71
SM58	46	26	1.77

図5-9　許容応力度設計

構造物の寿命中に，これ以上の大きさには絶対に至らないというものではない。したがって，これらの不確定要因を十分に考慮しながら，安全性を確保しなければならない。

安全性評価方法には従来より用いられてきた許容応力度法，最近取り入れられつつある限界状態設計法，さらには確率論に基づく信頼性理論などがある。

許容応力度法では設計荷重 S_i（$i=1$，2，……）から計算された断面各部に生じる応力度の総和がそれぞれの材料に対して規定された許容応力度を越えないようにすることにより安全性が照査される（図5－9）。許容応力度 σ_a は材料の基準応力度 σ_n（たとえばJISの最小強度）を安全率 γ で割った値としている。すなわち



安全係数により配慮されている内容

材料係数 γ_m	材料実験データの不足や偏り，品質管理の程度，供試体と実構造中の材料強度の差異，経時変化，限界状態に及ぼす影響の度合など
部材係数 γ_b	部材断面耐力の計算上の不確実性，部材寸法のばらつき，破壊性状，限界状態に及ぼす影響の度合いなど
荷重係数 γ_f	荷重の統計的データの不足や偏り，耐用期間中の荷重の変化，荷重の算出方法の不確実性，限界状態に及ぼす影響の度合など．荷重の設計用値では，荷重の組合せの確率を考慮して荷重組合せ係数 ϕ を荷重係数 γ_f に乗じる
構造解析係数 γ_a	断面力等の計算時の構造解析の不確実性
構造物係数 γ_i	構造物の重要度，限界状態に達した場合の社会経済的影響

図5－10　各限界状態に対する安全性の検討[1)]

$$\sum_{i=1}^{n}\sigma_i=\sigma<\sigma_a=\frac{\sigma_n}{\gamma}$$

と書ける。

限界状態設計法あるいは荷重係数設計法と呼ばれる設計規範は，いずれも部分安全係数を用いている。コンクリート構造物を対象とした限界状態設計法の内容を図5－10に示すが各限界状態に対して設計断面耐力と設計断面力との比較を行っている。その際の基本となるのが材料強度の特性値および荷重の特性値である。各限界状態に対する安全性の検討においては，材料強度から設計断面耐力を求める過程で，材料係数 γ_m と部材係数 γ_b の2つの安全係数を，また荷重から設計断面力を求める過程で，荷重係数 γ_f と構造解析係数 γ_a の2つの安全係数を設定し，さらに設計断面耐力との比較を行う段階で構造物係数 γ_i を設定している。最終的な照査式は

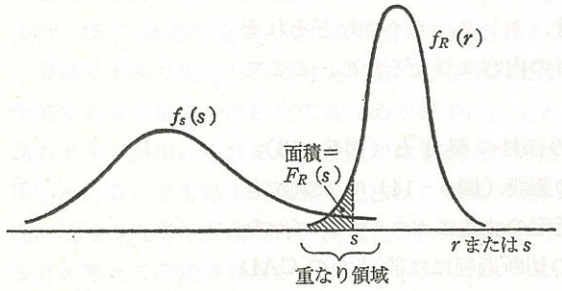
$$\frac{R_d}{S_d}\geqq\gamma_i$$

となる。

構造設計に関わる変数をすべて確率変数として扱い，それらの確率分布が既知であれば信頼性理論による方法が適用できる。図5－11に示すように荷重 S と抵抗 R の確率分布が与えられたとき，破壊確率 p_f は

$$p_f=P\ (S>R)$$

であり，したがって対応する非破壊の確率（これを信頼



$$p_f=P(R<S)=\Sigma P(R<S\mid S=s)\cdot P(S=s)$$

もし R と S が統計的に独立ならば

$$p_f=\int_0^\infty F_R(s)f_s(s)ds$$

図5－11　信頼性理論による破壊確率の算出

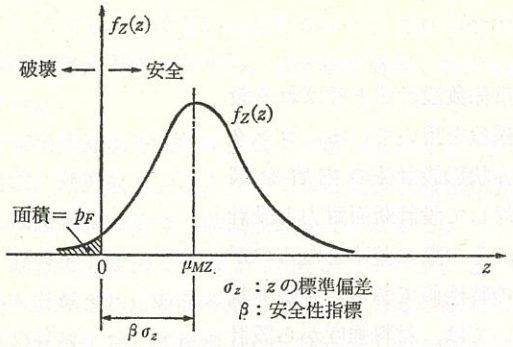


図5－12　破壊確率と安全性の指標

性と呼ぶ）は

$$p_s = 1 - p_f$$

となる。

図5－12のごとく安全性の余裕を示す$Z = R - S$の確率分布が与えられると，斜線部分の面積が破壊確率を意味する。RとSが正規分布する場合はZも正規分布となり，そのような場合，図中に示すβを安全性指標と呼び，安全性を定量的に評価するパラメータとして用いる。実際の設計においてはこのような信頼性理論を適用できるに十分な確率分布が求まらないのが現実である。

5.3　工　事

(1)　鋼構造物

鋼橋，鋼橋脚，水圧鉄管，タンク，サイロなどそれぞれの構造物ごとにその工事の内容は異なるため，ここでは橋について述べる。

鋼橋の工事は，工場での部材の製作と（図5－13），それを現地に輸送した後の架設（図5－14）に大別できる。鋼材は工場において所定の寸法にガスやプラズマなどにより切断される。この切断過程には設計でのCADと連続したCAMシステムが導入されつつある。切断された板は部材断面に応じて溶接による板継ぎがされ，現場での継手のための孔あけ，溶接による組立て過程により部材が完成する。板継ぎや組立てには様々な溶接方法

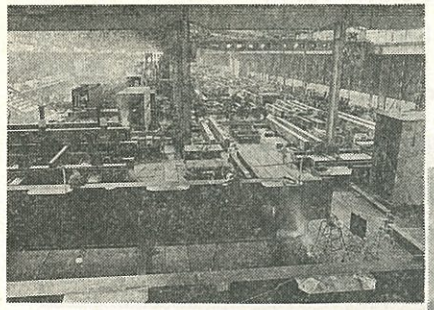


図5－13　工事製作

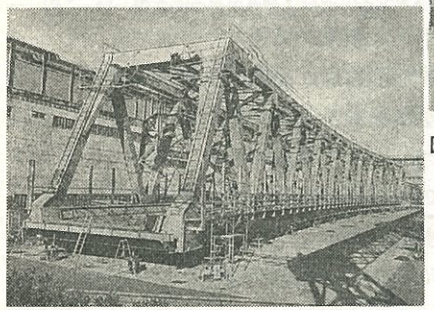


図5－15　工場での仮組み

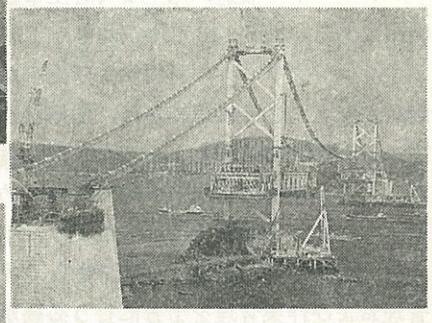


図5－14　架設工事

がとられ，X線や超音波探傷などそれぞれ適切な方法で検査が行われている。

各部材は断面の方法，部材長，直角度，板の平面度などが所定の精度におさまるように管理する。また，現場に輸送する前に工場内で組立てられ（仮組みと呼ぶ）（図5－15），構造物全体としての精度が確認される。

架設は工場で製作した部材を現場で組立て，架け渡す作業である。現場での組立てるための継手は，主として高力ボルトが用いられるが，最近では景観上から溶接が用いられることもある。架設の工法は，橋梁の構造特性，現地の地形や気象条件，環境条件，利用できる機材などを考えて決定される。

(2)　コンクリート構造物

鉄筋コンクリート構造物の施工は支保工および型枠の組立て，鉄筋の加工と組立て，コンクリートの打込み，締固めおよび養成等の工種からなる。プレストレストコ

ンクリート構造物ではこれらに加えてPC鋼材の加工，組立て，プレストレッシング，グラウトなどの工種からなる。

コンクリート構造は鋼構造と異なり，材料の選定からコンクリートの製造，施工までを工事として行うことが特徴である。図5－16にコンクリート施工の作業工程を示す。コンクリートの材料および配合が，所用の強度，耐久性をもつように定められ，適切な運搬，打込み，締固め方法が定められたとしても，作業員が熟練していなかったり，作業の意味が周知されていなかったりすれば，コンクリートの取扱い方により，不良な製品ができることがある。このようなミスをなくすためには，品質管理および作業管理を十分に行う必要がある。

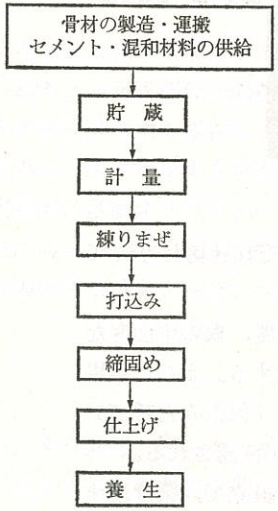


図5－16　コンクリート施工の作業工程[1]

5.4　管　理

土木構造物は公共性が高く，社会生活や経済活動あるいは国土保全などの基盤になっていることが多く，それが機能を停止した場合の影響は極めて大きい。

土木構造物は規模が大きく，堅固につくられており，したがって永久に機能を果たし続ける印象を与えがちである。しかし構造物は供用開始直後から，日照，雨風，

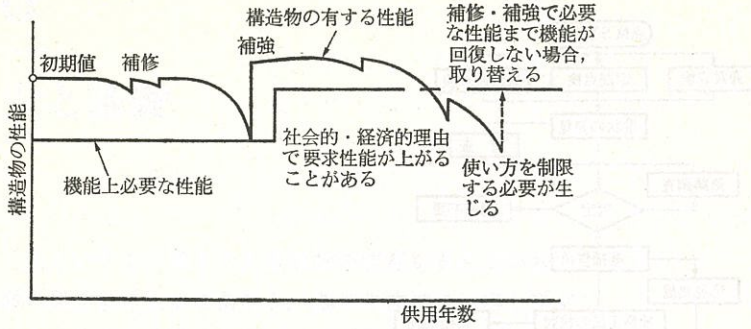


図5－17　構造物の供用年数と性能の変化

波浪，地震，温度変化といった自然環境にさらされ，また橋では自動車や列車による上載荷重を繰返し受けることにより，損傷，劣化が進行する。

図5－17に供用年数と構造物の性能の低下および補修，補強をモデル的に示す。土木構造物を良好な状態に保ち，必要ならば補修・補強を行いながらその機能を維持することを管理あるいは保守と呼んでいる。構造物の計画・設計・施工各段階での作業結果がその後の長い期間の管理段階にすべて反映されることになり，管理は重要かつ高度の技術が要求される仕事といえよう。

図5－18に道路橋の保守の手順を示す。機関によって手順および作業の呼び方はまちまちであるが，内容はいずれも大きな差はない。保守のための点検は，日・週単位で主に橋上から通常点検，1～10年に一度程度橋全体の健全度を調べるために実施される定期点検，および通常点検や定期点検で何らかの異常が発見されたり，地震，台風などの災害発生時に行う異常点検からなっている。点検についてはどの位置を（where），いつ（when），どのような技能を有するものが（who），どのようにして（how）行うかが重要である。これらの点検結果に基づいて橋の健全度が評価され，補修・補強の必要性が検討される。

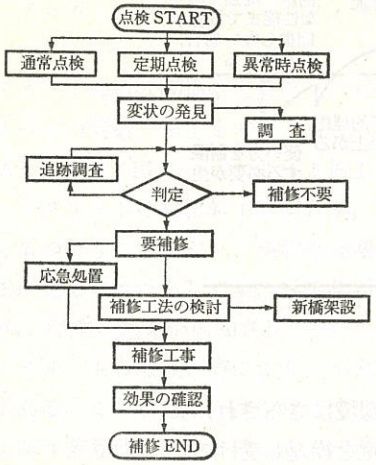


図 5 - 18　道路橋の保守手順[1)]

参考文献

1)　「土木工学ハンドブック」第22，23，24，29編，技報堂出版

2)　伊藤学，尾坂芳夫「設計論」彰国社

3)　Fisher：三木千寿他訳「鋼橋の疲労と破壊」建設図書，1987年

6

土と基礎

土というと，多くの人は植物の成育を支えている地表面の黒土を考えるであろう。農学や林学で土壌と呼ぶこの土は有機分に富んで耕作に適するのだが，軟弱なために建設工事の際には剝ぎ取られる。その下に層を成して堆積している土（礫・砂・粘土など）や岩が建設工事の対象である。

建設工事における土は，切土や掘削の対象であり，盛土構造物の材料としての土であり，そして構造物の重量を受け止める地盤としての土であり，かつ地中の構造物に力を加える土でもある。

人間の生活という面では，地すべり・崩壊・土石流，地盤沈下，液状化などの地盤災害をもたらすのも土である。

6.1　土とはどういうものか

(1)　土の起源

水を張ったコップに一握りの土を入れてかき混ぜると，土はばらばらになり，やがてコップの底に土粒子がたまる。すなわち，土は土粒子が集合したものであり，土粒子間の結合は微弱であることが分かる。

これらの土粒子は火山の噴出物（主に火山灰）か岩石の風化生成物である。風化というのは，地表に露出した岩石が細片化したり化学的に変化することの総称である。すなわち岩石が細片化するにつれて，礫粒子（径 75～2 mm），砂粒子（2～0.075mm），シルト粒子（0.075～0.005mm）が生成し，化学的に溶解したものから新たに粘土粒子（0.005mm 以下）が生成する。

火山灰は主に砂とシルト粒子であり，風に運ばれて堆