

設計劣化外力

概要

鉄筋コンクリートの耐久性に最も普遍的に影響を及ぼす劣化作用要因

相互作用
複合劣化

■ 劣化現象

- 鉄筋腐食
 - 中性化・塩害およびその他の原因
- コンクリートの劣化 (ひび割れ・浮き・剥落・表面劣化・強度低下など)
 - 凍害・アルカリ骨材反応・化学的腐食およびその他の原因
- その他の劣化現象

劣化作用要因としては中性化よりも影響大
内部塩害は対象とせず、外部塩害を対象

寒冷地域における劣化作用要因
凍結融解によるひび割れ・表層剥離

反応性シリカとアルカリ金属イオンの反応
水分の存在下で膨張ひび割れ・ポップアウト

流水による水和物溶脱・強度低下
砂塵吹付けによる摩耗
高低温繰返し・乾湿繰返しによる浮き・剥離

酸性・硫酸塩土壌、酸性地下水、酸性霧、
酸・塩類によるコンクリート劣化・鉄筋腐食

設計劣化外力

■ 設計劣化外力

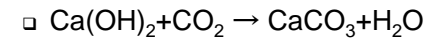
- 中性化に対する劣化外力
- 塩害に対する劣化外力
- 凍害に対する劣化外力
- アルカリ骨材反応に対する劣化外力
- 化学的腐食に対する劣化外力
- その他の劣化現象に対する劣化外力

気温・湿度・日射熱などの気象作用

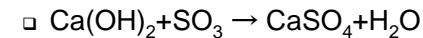
→それぞれの設計劣化外力を設定する際に考慮

中性化に対する設計劣化外力

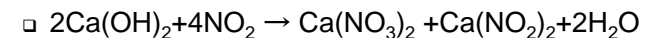
■ 二酸化炭素濃度



■ 硫酸化物濃度

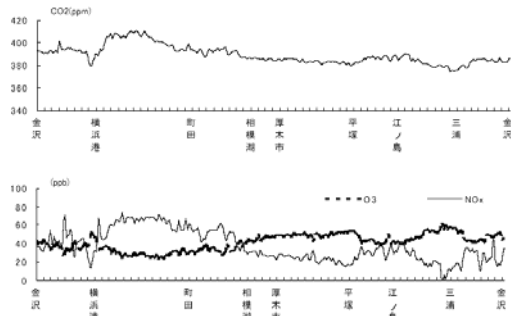


■ 窒素酸化物濃度



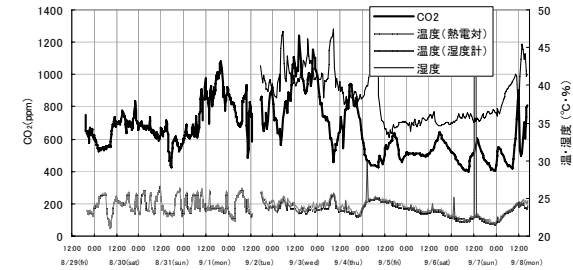
■ 建築物に接する土および水の炭酸濃度

中性化に対する設計劣化外力



- 二酸化炭素濃度・硫黄酸化物濃度・炭酸濃度
 - 建築物の中・外, 都市部・農村部, 工場・道路からの距離に依存
 - 原則: 建築場所で連続的に測定して求める

中性化に対する設計劣化外力

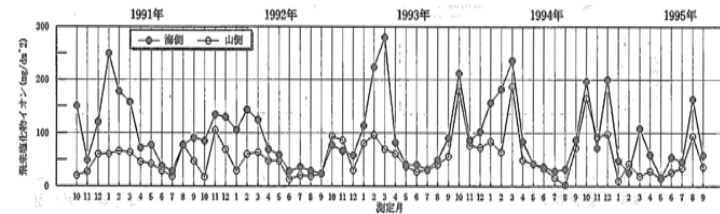


- 二酸化炭素濃度の測定値がない場合
 - 屋外では 0.05%, 屋内では 0.20% を標準
- 硫黄酸化物・窒素酸化物・炭酸濃度の測定値がない場合
 - 信頼できる資料(気象庁、都道府県・市町村の測定データ利用)

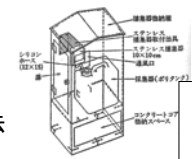
塩害に対する設計劣化外力

- 建築物の各面へ到達する塩化物イオン量
 - 海水飛沫や海塩粒子によって運ばれる塩化物イオン
- 建築物に接する水の塩化物イオン濃度
 - 埋立て地や沿岸地域に位置する建築物の地下構造体
 - 埋立て地や沿岸地域の地下水(塩化物イオン含有)
 - 例: 東京湾隅田川沿いの地下水: NaCl で約0.34%

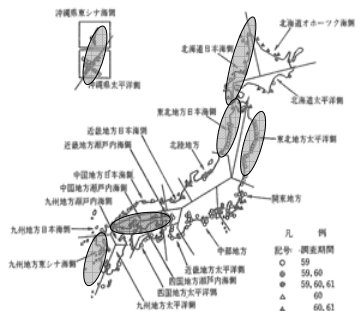
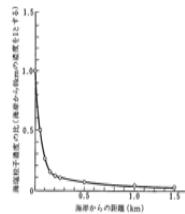
塩害に対する設計劣化外力



- 飛来塩分の季節変動
- 連続的な測定が必要
- 測定法
 - ガーゼ法 (JIS Z 2381)、土研式塩分捕集方法



塩害に対する設計劣化外力



- 海岸からの距離
 - 100~200m : 0m の1/5~1/10
- 地域特性
 - 多い地域
 - 北海道日本海側, 東北地方日本海側, 東北地方太平洋側, 九州地方東シナ海側, 沖縄県
 - 特に少ない地域
 - 瀬戸内海

塩害に対する設計劣化外力

地域	飛来塩分量 (mg/dm ² /day)
北海道日本海側	40
東北地方日本海	40
東北地方太平洋	20
近畿地方瀬戸内海側	1
中国地方瀬戸内海側	0.4
四国地方瀬戸内海側	0.4
九州地方瀬戸内海側	1
九州地方東シナ海側	10
沖縄太平洋側	100
沖縄東シナ海側	10

塩害に対する設計劣化外力

遮蔽物等の影響

	海から100m まで	海から500m
海に対して開いている	1	1
遮蔽物などにより陰になっている	0.4	0.8

- 高さ方向の分布量
 - 海岸周辺: 地上100m 位までであればほぼ同じ
- 融氷剤の散布される降雪地域
 - 駐車場: 注意が必要
 - 融氷剤が付着した車両により融氷剤が持ち込まれる

凍害に対する設計劣化外力

- 年間の凍結融解回数
 - 年間の凍結融解繰返し回数が多いほど, 凍害劣化が早く進行
- 最低温度
 - 最低温度が低いほど凍害が大
- コンクリートに作用する水分
 - ある程度乾燥しているコンクリート
 - 凍結融解が生じる程度の温度変化を受けても凍害の発生はない
 - ある限度以上含水しているコンクリート
 - 凍害発生
 - 含水程度が高くなるほど被害大

凍害に対する設計劣化外力

- 地域、立地、部材・部位条件の考慮が必要
 - 地域とのかかわり
 - 寒冷度→凍結融解作用の強さ
 - 外気温上の年間の凍結融解回数
 - 日射によるコンクリート温度上昇
 - 方位・部材・部位に応じた凍結融解回数の増加
 - 凍結最低温度
 - 融雪水・雨水によるコンクリート表面部の含水程度
 - 方位・部材・部位を考慮
 - 立地とのかかわり(方位)
 - 日射による凍結融解回数の増加
 - 部材・部位とのかかわり
 - 水平部材, 鉛直部材, 隅角部, ひさし部

凍害に対する設計劣化外力

- 連続的な測定
 - コンクリート温度
 - 熱電対の埋込み
 - 水分
 - コンクリートに浸入する水分量ではなく, コンクリート表面部の含水程度を測定する方が簡便
 - 測定センサの埋込み
- 信頼できる資料
 - 年間の凍結融解回数と最低温度
 - 建設地の毎日の日最高・最低気温データ
- 劣化現象が最も激しく現れる部材で設計
 - 水平部で常に融雪水で濡れやすい外端部

アルカリ骨材反応に対する設計劣化外力

- 無害と判定されない骨材
 - アルカリシリカ反応性を持つ鉱物
 - オパール, クリスタライト, トリジマイト, 火山ガラス, 玉髄, 石英
 - 反応性シリカ鉱物を含む岩石
 - 輝石安山岩, チャート
- 建築物の各面へ到達するアルカリイオン量
- 建築物に接する水のアルカリイオン濃度
- コンクリートに作用する水分

アルカリ骨材反応に対する設計劣化外力

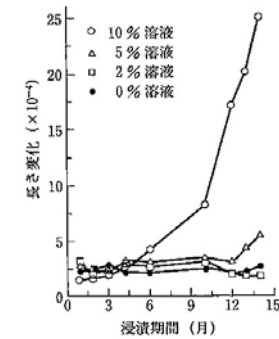
- アルカリイオン濃度
 - 内部由来
$$R_i = \frac{N_{a2O_{eq}}(\%) \cdot C + 0.9 \cdot Cl^- + R_m}{100}$$
 - $N_{a2O_{eq}}$:セメントのアルカリ量(Na_2O 換算)(%)
 - C :単位セメント量(kg/m^3)
 - Cl^- :コンクリート中の塩化物イオン量(kg/m^3)
 - R_m :混和剤からもたらされるアルカリ量(kg/m^3)
 - 外部由来
 - 海洋環境地域や融雪剤・融氷剤の使用地域
 - 建築物で想定されるアルカリ供給条件の再現試験
 - 飛来塩分量から Na イオン量の換算

化学的腐食に対する設計劣化外力

- 大気・土・水の酸性物質の濃度
- 大気・土・水の腐食性物質の濃度
 - 酸性物質
 - コンクリート中のセメント水和物を可溶性の物質を生成
 - 溶脱→コンクリートの劣化・崩壊
 - 硫酸塩
 - コンクリート中のセメント水和物と反応して不溶性の化合物を生成
 - 膨張→コンクリートの劣化・崩壊

化学的腐食に対する設計劣化外力

- 硫酸塩
 - 濃度が比較的高いときに腐食性が大きい
 - 硫酸塩の濃度と腐食程度
 - CEB Task Group Durability 20 "Durability and Service life of Concrete Structures"
 - SO₃量
 - 硫酸ナトリウム(Na₂SO₄)換算値
- その他の腐食性物質
 - 定性的な傾向は数多い
 - 定量的な評価には至らず
 - 試験等によって確認



化学的腐食に対する設計劣化外力

■ 化学的腐食に対する劣化外力のクラス分け

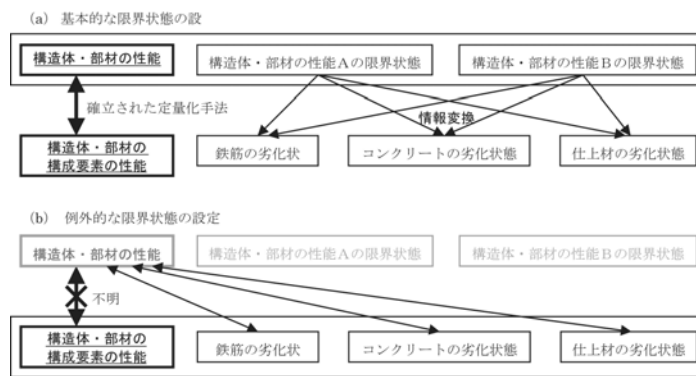
	試験方法	XA1	XA2	XA3
SO ₄ ²⁻ mg/l (水中)	EN196-2	≧200, ≦600	>600, ≦3000	>3000, ≦6000
SO ₄ ²⁻ mg/kg (土中)	EN196-2	≧2000, ≦3000	>3000, ≦12000	>12000, ≦24000
pH	ISO4316	≧6.5, ≧5.5	<5.5, ≧4.5	<4.5, ≧4.0
土の酸性度	DIN4030-2	>20°		
CO ₂ mg/l (水中)	prEN13577	≧15, ≦40	>40, ≦100	>100
NH ₄ ⁺ mg/l (水中)	ISO7150-1 ISO7150-2	≧15, ≦30	>30, ≦60	>60, ≦100
Mg ²⁺ mg/l (水中)	ISO7980	≧300, ≦1000	>1000, ≦3000	>3000

設計限界状態および維持保全限界状態

概要

- 設計限界状態・維持保全限界状態の設定対象
 - 建築物全体の機能・性能(あるべき姿)
 - 構造体および部材の機能・性能(本指針) **情報変換**
 - 鉄筋, コンクリートまたは仕上材を含めたコンクリート
 - 構成要素に限界状態を設定する場合
 - 構成要素の劣化状態←定量化未整備→構造体・部材の性能
 - 鉄筋コンクリート造外壁の漏水に対する維持保全限界状態
 - 構成要素の劣化→構造体および部材の寿命を直接決定
 - 仕上材としてタイルが施された鉄筋コンクリート造外壁の使用安全性に対する設計限界状態

概要



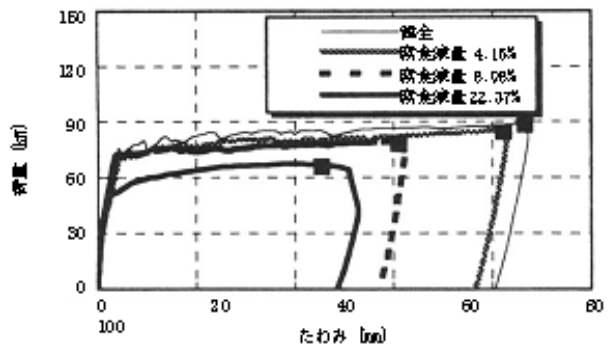
構造安全性

- 設計限界状態
 - 鉄筋腐食またはコンクリート劣化の進行
 - 設計時に設定した安全率が不十分な場合
 - 適切な維持保全が施されなかった場合
 - 構造体および部材の保有耐力
 - 軸方向耐力 \leq 設計軸力
 - 曲げ耐力 \leq 設計曲げモーメント
 - せん断耐力 \leq 設計せん断力

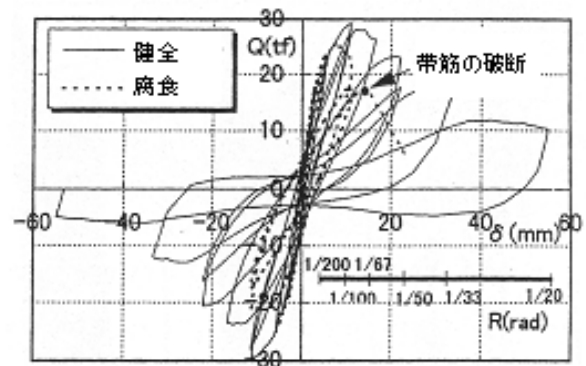
構造安全性

- 鉄筋腐食と構造安全性
 - 中性化、塩化物イオンの拡散
 - 鉄筋の腐食
 - 鉄筋に沿ったかぶりコンクリートのひび割れ
 - 鉄筋とコンクリートとの付着耐力の低下開始
 - 鉄筋断面積の約1~3%腐食
 - 部材の構造耐力の変化ほとんどなし
 - 部材の構造体力の低下開始
 - 鉄筋断面積の約4~5%腐食(一様腐食)
 - 局部腐食(マクロセル腐食、孔食)

構造安全性



構造安全性

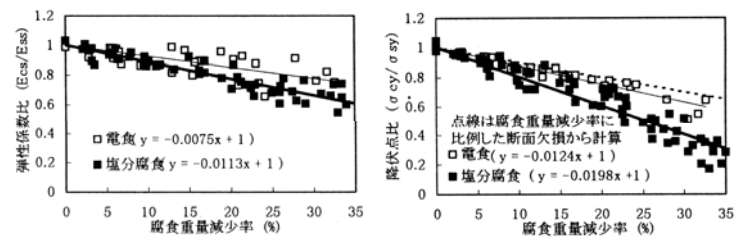


構造安全性

- 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説
 - 長方形梁の許容曲げモーメント
 - 軸方向力と曲げモーメントを同時に受ける柱の許容軸方向力・許容曲げモーメント
 - 梁の許容せん断力
 - 柱の許容せん断力
 - 柱梁接合部の許容せん断力
 - 耐震壁の許容水平せん断力
 - 鉄筋の必要付着長さ・必要定着長さ
 - 算定式中のパラメータ
 - 鉄筋の断面積←鉄筋の腐食状態
 - コンクリートの圧縮強度・断面積←コンクリートのひび割れ・剥離など

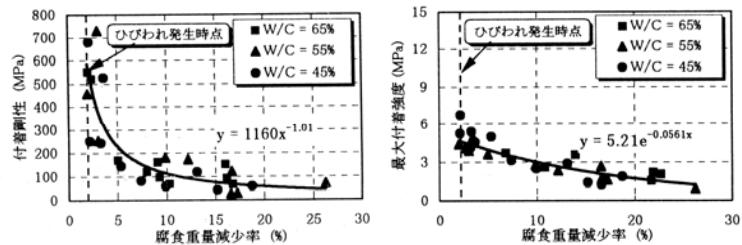
構造安全性

■ 鉄筋腐食と鉄筋の弾性係数・降伏点



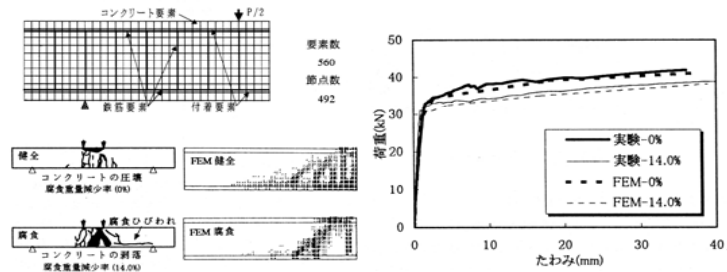
構造安全性

■ 鉄筋腐食と付着特性



構造安全性

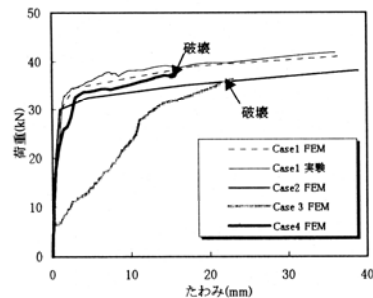
■ 有限要素解析による構造耐力の算定(1)



構造安全性

■ 有限要素解析による構造耐力の算定(2)

種類	腐食状態	降伏点 (N/mm ²)	弾性係数 (kN/mm ²)	腐食減量 (%)
Case1	健全	343	197	0
Case2	全面腐食	248	166	14
Case3	局部腐食 (等曲げ区間)	34	97	45
Case4	局部腐食 (せん断区間)	34	97	45



構造安全性

■ 維持保全限界状態

- 鉄筋腐食またはコンクリート劣化の進行
- 構造体および部材の保有耐力
 - 軸方向耐力の低下
 - 曲げ耐力の低下
 - せん断耐力の低下
- 構造耐力に影響を及ぼす劣化が生じる時点
 - 鉄筋が腐食し、かぶりコンクリートに鉄筋に沿ったひび割れが発生する時点
 - 凍結融解作用の繰返しによって構造体および部材のかぶりコンクリートが全体的に剥落してしまう時点

使用性

- 感覚障害を生じさせない性能
 - 床の揺れ・たわみ・傾斜・段差、外壁の汚染・過大ひび割れがない
 - 耐振動性, 曲げ剛性, 平面性, 耐汚染性, ひび割れ抵抗性
- 機能障害を生じさせない性能
 - ひび割れを通じての煙・悪臭・水・熱・音の流入・流出がない
 - 遮煙性, 気密性, 防水性, 断熱性, 遮音性
- 使用安全性に対する障害を生じさせない性能
 - 外壁タイルの落下がない
 - ひび割れを通じての隣室からの有毒ガスの流入がない

使用性

- 構造体・部材に密接に関連する評価項目
 - 使用安全性
 - 漏水
 - たわみ
 - 振動
- CEB-FIP Model Code : 1990
 - 使用性の限界状態
 1. 過度のひび割れ現象、過度の圧縮応力、永久ひずみや微小ひび割れを生じさせる局所的な損傷
 2. 非構造要素に許容できない損傷を生じさせる変形、構造要素および非構造要素の使用性や外観を過度に阻害する変形
 3. 不快感を与える振動、使用性の損失およびその警鐘を与える振動

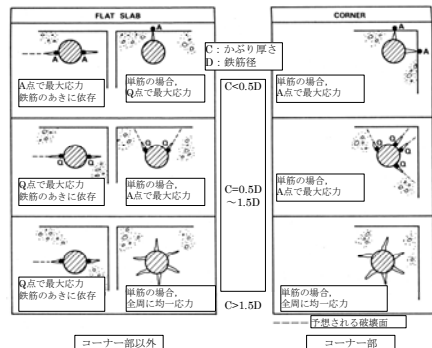
使用性

- 使用安全性(使用性の第一義的な評価項目)
 - 床面の凹凸・段差などによって歩行者がつかずかない
 - 天井または壁からの脱落物によって歩行者・器物等が損傷を被らない
 - 評価項目
 - コンクリートの一体性
 - コンクリートと仕上材との一体性

使用性

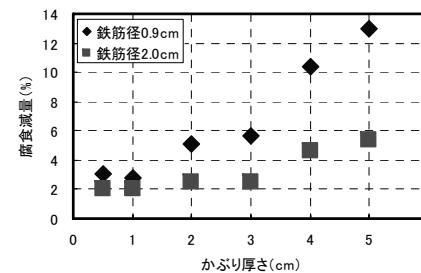
- 使用安全性の設計限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - かぶりコンクリートに浮き・剥落が生じるとき
 - 仕上材に浮き・剥落が生じるとき
 - 維持保全限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - コンクリートまたは仕上材に浮き・剥落につながるおそれのあるひび割れが生じるとき

使用性



- ひび割れパターン
 - 鉄筋径
 - コンクリートのかぶり厚さ
 - 鉄筋のあき
 - 断面内の鉄筋の位置

使用性



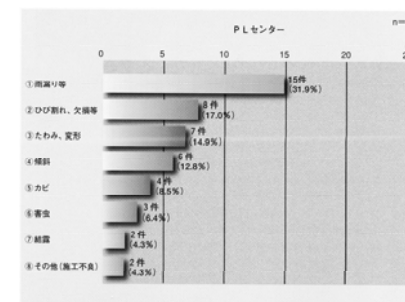
- ひび割れ発生までの鉄筋の腐食割合
 - かぶり厚さ
 - 鉄筋径
 - コンクリート強度

使用性

- 漏水
 - 防水層のない雨掛り部分
 - 水回り部分のコンクリート
- 設計限界状態
 - コンクリートのひび割れを通じて漏水が生じるとき
- 維持保全限界状態
 - 漏水につながるおそれのあるひび割れが生じるとき

使用性

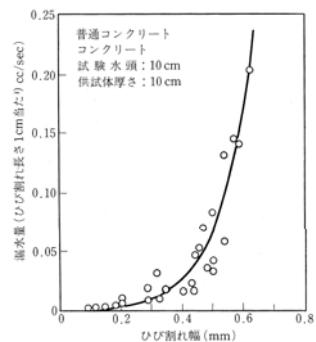
- 漏水
 - 最も重視されかつ事例の多いクレーム



使用性

■ 漏水

- 部材を貫通するひび割れがない場合
 - 外壁や床スラブ等を通じた漏水が問題になることはない
- 貫通するひび割れがある場合
 - ひび割れ幅の3~4 乗に比例して漏水量が増大
 - ひび割れ幅をある限度以下に抑制



使用性

■ 漏水

- 鉄筋コンクリート造のひび割れ対策(設計・施工)指針
 - 漏水の危険性のあるひび割れ幅の目安: 0.1 mm
 - ひび割れ幅 0.05 mm 以下
 - 外壁からの漏水の危険性はない
 - ひび割れ幅 0.1 mm 以下
 - 外壁から内表面にしみ出るような漏水は生じない
 - 漏水の危険性の高い部材
 - 防水層を設けない屋根スラブのような水平部材
 - 水圧が常時生じている地中外壁のような垂直部材
 - ひび割れ幅を 0.05 mm 以下に抑える必要あり
 - 現実的には技術上・経済上困難
 - 防水層を設けることは必須

使用性

■ たわみ

- 設計限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - たわみが設計用たわみ以上になるとき
- 維持保全限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - たわみが増加するとき

使用性

■ たわみの制限値

- 鉄筋コンクリート構造計算規準
 - 周辺固定場所打ち床スラブ
 - たわみ制限値 = スパンの 1/250
 - 集合住宅
 - 「付7. 長期荷重時おける変形とひび割れ」
 - 居住者の感覚的鋭敏性に配慮
 - 建具の納まり具合に配慮
 - たわみ制限値 = スパンの 1/4000 以下

使用性

- たわみの増大(短期的・長期的)
 - 鉄筋の腐食
 - 鉄筋断面積の減少
 - 鉄筋とコンクリートとの付着力の低下
 - 凍結融解作用および酸・塩の作用
 - コンクリート断面積の減少
 - 様々な劣化
 - コンクリートのひび割れの発生・増大

使用性

- 振動
 - 固有振動数・変位振幅
 - 設計限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - 構造体および部材の固有振動数が設計用固有振動数から求まる振動の限界値に達するとき
 - 構造体および部材の変位振幅が設計用変位振幅から求まる振動の限界値に達するとき
 - 維持保全限界状態
 - 鉄筋腐食およびコンクリートの劣化によって
 - 構造体および部材の固有振動数に変化が生じるとき
 - 構造体および部材の変位振幅に変化が生じるとき