

目 次

第 I 編 耐衝撃設計における性能照査およびリスク評価の考え方と基本原則

第 1 章 衝撃問題の特徴	3
1.1 衝撃作用に対する抵抗メカニズムの相違.....	3
1.2 衝撃的な作用の物理現象としての複雑さ.....	4
1.3 構造物の衝撃応答の複雑さ.....	6
第 2 章 性能設計とリスク評価の考え方.....	7
2.1 性能設計の概要	7
2.2 リスク評価の概要	11
第 3 章 耐衝撃設計法における性能照査の留意点.....	15
3.1 性能照査と信頼性設計の概要.....	15
3.2 目的と要求性能	15
3.3 性能規定に関する検討事項.....	16
3.4 衝撃作用を受ける構造物の性能照査法の現状.....	17
第 4 章 落石対策工および砂防堰堤の設計法に関する最近の動向と提案.....	18
4.1 落石対策便覧の改訂と落石防護施設の性能設計.....	18
4.2 道路防災構造物の性能規定化に関する提案.....	22
4.2.1 道路防災構造物の性能設計体系と課題.....	22
4.2.2 期間の設定	23
4.2.3 作用の具体化	25
4.2.4 構造物の重要度と性能マトリクス.....	30
4.2.5 限界状態の具体化.....	30
4.3 鋼製透過型砂防堰堤の性能設計法の提案.....	41
4.3.1 砂防堰堤の性能設計に関する動向.....	41
4.3.2 鋼製透過型砂防堰堤の目的.....	41
4.3.3 要求性能	41
4.3.4 性能規定	45
4.3.5 性能照査	46
4.3.6 性能照査の数値計算例.....	47
4.3.7 おわりに	54
第 5 章 衝撃作用を受ける構造物の性能照査の基本原則の提案.....	56
5.1 総則	57
5.1.1 目的	57
5.1.2 性能照査の対象.....	58
5.1.3 照査方法の選定.....	59
5.1.4 照査指標	60
5.1.5 本基本原則の記述方針.....	60

5.1.6	用語の定義	63
5.2	衝撃作用のモデル化および設定	65
5.2.1	簡略法における衝撃作用のモデル化	65
5.2.2	実験における衝撃作用の設定	66
5.2.3	数値解析における衝撃作用のモデル化	67
5.3	応答値の評価	67
5.3.1	簡略法における応答値の算定	67
5.3.2	実験における構造物のモデル化	68
5.3.3	実験方法と応答値の計測	69
5.3.4	数値解析における応答値の算定	70

第Ⅱ編 簡略法による性能照査

第1章	作用と構造物のモデル化	73
1.1	はじめに	73
1.2	作用のモデル化	75
1.2.1	固体の衝突による衝撃作用	75
1.2.2	気体に起因する衝撃的作用	79
1.2.3	液体に起因する衝撃的作用	81
1.3	応答値の算定法	84
1.3.1	局部破壊	84
1.3.2	全体破壊	87
第2章	各種構造物の設計法と課題	93
2.1	はじめに	93
2.2	ロックシェッド	96
2.2.1	ロックシェッドの特徴	96
2.2.2	設計体系	98
2.2.3	設計法の高度化のための課題	98
2.2.4	性能設計のための衝撃力評価	98
2.2.5	簡略モデル	103
2.2.6	おわりに	104
2.3	落石防護柵・網	106
2.3.1	落石防護柵・網の概要	106
2.3.2	設計法	107
2.3.3	従来型防護柵・ポケット式防護網のモデル化および設計法	107
2.3.4	高エネルギー吸収型防護柵の性能規定手法	111
2.3.5	高エネルギー吸収型ポケット式防護網の性能規定手法	114
2.3.6	落石防護柵・網の課題	116
2.4	雪崩防護工・崩土防護工・砂防堰堤	117
2.4.1	雪崩防護工の現状と課題	117

2.4.2	崩土防護工の現状と課題.....	122
2.4.3	砂防堰堤の現状と課題.....	125
2.5	流木・津波防護工	135
2.5.1	流木捕捉工（砂防施設）	135
2.5.2	津波防護設備	137
2.6	飛来物衝突に対する防護構造物.....	144
2.6.1	RC および補強コンクリート版	144
2.6.2	鋼板	146
2.7	近接爆発による爆風圧評価と鋼板の変形特性.....	154
2.7.1	はじめに	154
2.7.2	爆風圧の評価式.....	154
2.7.3	近接爆発時の荷重分布特性の定式化.....	157
2.7.4	鋼板に対する近接爆発実験とアルミハニカムパネルによる緩衝効果.....	160
2.7.5	おわりに	166
2.8	おわりに	167

第Ⅲ編 実験による性能照査

第1章	はじめに	171
第2章	各種構造要素／構造物の実験による性能照査や検証の事例.....	172
2.1	重錘衝突を受けるRCはり	172
2.1.1	実験の目的	172
2.1.2	衝突作用の設定.....	172
2.1.3	構造要素のモデル化.....	172
2.1.4	実験方法	173
2.1.5	耐衝撃性の評価事例.....	174
2.2	重錘衝突を受けるRC版	176
2.2.1	実験の目的	176
2.2.2	衝突作用の設定.....	176
2.2.3	構造要素のモデル化.....	176
2.2.4	実験方法	177
2.2.5	耐衝撃性の評価事例.....	177
2.3	飛翔体衝突を受けるRC版	179
2.3.1	照査の目的	179
2.3.2	衝突作用の設定.....	179
2.3.3	構造要素のモデル化.....	179
2.3.4	実験方法	179
2.3.5	照査のための実験結果例.....	180
2.4	爆発作用を受けるRC部材	182
2.4.1	照査の目的	182

2.4.2	爆発作用の設定.....	182
2.4.3	構造要素のモデル化.....	183
2.4.4	実験方法	183
2.4.5	照査のための実験.....	185
2.5	飛来物防護ネット	188
2.5.1	照査の目的	188
2.5.2	衝突作用の設定.....	188
2.5.3	構造物のモデル化.....	188
2.5.4	実験方法	189
2.5.5	照査事例	189
2.6	落石防護コンクリート構造物.....	195
2.6.1	実験の目的	195
2.6.2	衝突作用の設定.....	195
2.6.3	構造物のモデル化.....	196
2.6.4	実験方法	197
2.6.5	耐衝撃性の評価事例.....	197
2.7	高エネルギー吸収型落石防護工.....	199
2.7.1	照査の目的	199
2.7.2	衝突作用の設定.....	200
2.7.3	構造物のモデル化.....	200
2.7.4	実験方法	201
2.7.5	照査のための実験の手順.....	202
2.8	鋼製透過型砂防堰堤.....	204
2.8.1	照査の目的	204
2.8.2	衝突作用の設定.....	204
2.8.3	構造物のモデル化.....	205
2.8.4	実験方法	206
2.8.5	照査のための実験結果例.....	206
2.9	ゴム緩衝材	209
2.9.1	実験の目的	209
2.9.2	衝突作用の設定.....	210
2.9.3	ゴム緩衝材のモデル化.....	210
2.9.4	実験方法	210
2.9.5	耐衝撃性の評価事例.....	213
2.10	ゴム緩衝チェーン.....	216
2.10.1	照査の目的	216
2.10.2	衝突作用の設定.....	216
2.10.3	構造物のモデル化.....	217
2.10.4	実験方法	218
2.10.5	照査	218

2.11 おわりに.....	220
第3章 衝突作用を受ける構造物の縮小模型実験に適用する相似則.....	222
3.1 はじめに.....	222
3.2 提案相似則の概要.....	222
3.2.1 相似比.....	222
3.2.2 相似則の求め方.....	223
3.3 相似則の検証.....	225
3.3.1 片持ちばりの静的载荷および自由振動実験による提案相似則の検証.....	225
3.3.2 荷重-時間関係を入力した場合の片持ちばりの弾性振動に対する提案相似則の検証.....	228
3.3.3 片持ちばりを用いた低速度衝突実験における相似則の適用性の検証.....	230
3.4 おわりに.....	234

第IV編 衝撃問題を対象とした数値解析の検証と妥当性確認

第1章 検証と妥当性確認の概要.....	237
1.1 はじめに.....	237
1.2 ASME V&V10の概要.....	240
1.2.1 V&Vの計画.....	240
1.2.2 モデル開発.....	241
1.2.3 検証 (Verification).....	242
1.2.4 妥当性確認 (Validation) と不確かさ定量化 (Uncertainty Quantification, UQ).....	242
1.3 おわりに.....	243
第2章 低速衝突を受けるRCはりの最大変位に関する実験式の妥当性確認例.....	244
2.1 はじめに.....	244
2.2 実験概要.....	244
2.2.1 RCはりの概要.....	245
2.2.2 静的载荷実験の結果.....	246
2.2.3 衝撃载荷実験の概要.....	246
2.2.4 計測方法.....	247
2.2.5 材料試験結果.....	248
2.3 衝撃载荷実験結果.....	249
2.3.1 重錘衝撃力.....	249
2.3.2 重錘移動量とスパン中央点変位.....	249
2.3.3 主ひずみ分布の時刻歴変化.....	250
2.3.4 実験終了後のひび割れ分布.....	252
2.3.5 各RCはりの実験結果のばらつき.....	252
2.4 実験式の不確かさ定量化および妥当性確認の流れ.....	253
2.4.1 検討対象.....	254
2.4.2 実験式による計算結果.....	255

2.4.3	最大応答変位の累積分布.....	256
2.4.4	実験式による計算結果の不確かさ定量化および妥当性確認.....	257
第3章	低速衝突を受けるRCはりの衝撃解析における妥当性確認のケーススタディ.....	259
3.1	はじめに.....	259
3.2	所期の利用目的およびモデルの正確度要件.....	259
3.3	各数値解析モデルの概要.....	260
3.4	不確かさの影響度評価と各数値解析モデルのパラメータセット.....	266
3.5	各数値解析モデルの解析結果.....	268
3.5.1	時刻歴応答波形とひび割れ性状.....	268
3.5.2	最大変位に関する解析応答値と代理モデルの作成.....	270
3.6	数値解析モデルの不確かさ定量化および妥当性確認.....	271
3.7	おわりに.....	273
第4章	低速衝突を受けるRCはりの衝撃解析における感度解析と留意点.....	274
4.1	はじめに.....	274
4.2	要素寸法依存性に関する検討.....	275
4.3	ひずみ速度効果に関する検討.....	279
4.4	境界における摩擦に関する検討.....	281
4.4.1	接触モデルの影響.....	281
4.4.2	摩擦係数の影響.....	283
4.5	減衰に関する検討.....	285
4.6	今後の課題.....	287
第5章	高速衝突を受けるRC版の衝撃挙動と数値解析.....	290
5.1	はじめに.....	290
5.1.1	局部破壊の特徴.....	290
5.1.2	RC版の局部破壊メカニズム.....	291
5.2	RC版に対する高速衝突実験.....	296
5.2.1	実験の概要.....	296
5.2.2	材料試験結果.....	299
5.2.3	衝突実験結果.....	300
5.3	解析モデルの概要.....	306
5.4	解析結果の概要.....	312
5.5	材料特性の不確かさが応答に与える影響の評価.....	315
5.6	各種モデル・条件の感度解析.....	320
5.6.1	高静水圧域のモデル化に関する検討.....	320
5.6.2	ひずみ速度効果に関する検討.....	322
5.7	おわりに.....	325

第V編 衝撃問題に関する調査・分析資料

第1章	研究変遷とビジョン.....	329
-----	----------------	-----

1.1	衝撃問題の簡易マインドマップ.....	329
1.2	落石防護に関する研究変遷とビジョン.....	333
1.2.1	はじめに	333
1.2.2	実験	334
1.2.3	数値解析	339
1.2.4	設計法	341
1.3	土石流対策に関する研究変遷とビジョン.....	347
1.3.1	はじめに	347
1.3.2	実験	348
1.3.3	数値解析	352
1.3.4	設計法	355
1.4	飛来物衝突に関する研究変遷とビジョン.....	361
1.4.1	はじめに	361
1.4.2	実験	362
1.4.3	数値解析	365
1.4.4	設計法	368
1.5	耐爆設計に関する研究変遷とビジョン.....	374
1.5.1	はじめに	374
1.5.2	実験	374
1.5.3	数値解析	379
1.5.4	設計法	381
1.6	落下衝突に関する研究変遷とビジョン.....	388
1.6.1	はじめに	388
1.6.2	これまでの研究の動向.....	389
1.6.3	将来の展望	391
1.7	地震・振動に起因した衝撃問題に関する研究変遷とビジョン.....	393
1.7.1	はじめに	393
1.7.2	これまでの研究動向.....	393
1.7.3	将来の展望	394
第2章	衝撃問題きほんの『き』	396
第3章	国際学術誌掲載のRC部材（はり・版）の衝撃実験事例.....	419
3.1	はじめに	419
3.2	RCはりの衝撃実験例	419
3.3	岸・三上評価式の適用範囲外実験データへの適用性に関する検討	421
3.4	RC版の衝撃実験例	425

執筆者一覧

第Ⅰ編 耐衝撃設計における性能照査およびリスク評価の考え方と基本原則

栗橋 祐介	嶋 丈示	園田 佳巨
別府万寿博	榎谷 浩	若林 修

第Ⅱ編 簡略法による性能照査

相澤 武揚	國領ひろし	豊田 真
中村佐智夫	西田 陽一	西村 佳樹
橋口 寛史	別府万寿博	山川 大貴

第Ⅲ編 実験による性能照査

市野 宏嘉	栗橋 祐介	國領ひろし
手嶋 良祐	南波 宏介	西村 佳樹
西本 安志	福永 一基	別府万寿博

第Ⅳ編 衝撃問題を対象とした数値解析の検証と妥当性確認

小尾 博俊	笠置 昌寿	栗橋 祐介
小室 雅人	園田 佳巨	竹越 邦夫
玉井 宏樹	二階堂雄司	別府万寿博
松澤 遼	山本 佳士	

第Ⅴ編 衝撃問題に関する調査・分析資料

市野 宏嘉	國領ひろし	塩見 昌紀
玉井 宏樹	南波 宏介	堀口 俊行
松澤 遼	山田 和彦	渡辺 高志

(50音順)