

## 目 次

## A 用語, 単位換算表

|        |               |     |
|--------|---------------|-----|
| A 1    | 用語と簡単な説明      | P 1 |
| A 2    | 換算表           | 8   |
| A 2.1  | 応力の換算率および換算表  | 8   |
| A 2.2  | 温度の換算率および換算表  | 10  |
| A 2.3  | 長さの換算率        | 10  |
| A 2.4  | 面積の換算率        | 10  |
| A 2.5  | 体積の換算率        | 10  |
| A 2.6  | 力の換算率         | 10  |
| A 2.7  | 密度の換算率        | 10  |
| A 2.8  | 速度の換算率        | 11  |
| A 2.9  | 仕事, エネルギーの換算率 | 11  |
| A 2.10 | 動力の換算率        | 11  |

## B 総 論

|           |                  |    |
|-----------|------------------|----|
| B 1       | 応力解析             | 12 |
| B 1.1     | 応力とひずみ (弾性域)     | 12 |
| B 1.1.1   | 応力と応力成分          | 12 |
| B 1.1.2   | 一点の応力            | 12 |
| B 1.1.3   | 主応力と主せん断応力       | 13 |
| B 1.1.4   | ひずみとひずみ成分        | 14 |
| B 1.1.5   | 一点のひずみ           | 14 |
| B 1.1.6   | 主ひずみと主せん断ひずみ     | 15 |
| B 1.1.7   | 応力とひずみとの関係       | 15 |
| B 1.1.8 a | 平面応力の応力平衡式等      | 16 |
| B 1.1.8 b | 平面ひずみの応力平衡式等     | 16 |
| B 1.1.9   | 境界条件             | 17 |
| B 1.1.10  | 弾性基礎方程式の解        | 17 |
| B 1.1.11  | 重ね合せの法則          | 18 |
| B 1.1.12  | Saint-Venant の原理 | 18 |
| B 1.1.13  | 残留応力             | 18 |
| B 1.1.14  | 熱応力              | 19 |
| B 1.2     | 応力測定             | 19 |

|                        |                          |           |
|------------------------|--------------------------|-----------|
| B 1.2.1                | 応力測定概説                   | 19        |
| B 1.2.2                | ひずみ測定により応力値を求める公式        | 19        |
| <b>B 2</b>             | <b>材料の強さ</b>             | <b>21</b> |
| B 2.1                  | 静的破損と破壊                  | 21        |
| B 2.1.1                | 破損と破壊                    | 21        |
| B 2.1.2                | すべり破壊と分離破壊               | 21        |
| B 2.1.3                | 破損の法則                    | 21        |
| B 2.1.4                | 破壊の法則                    | 23        |
| B 2.2                  | 疲れ                       | 23        |
| B 2.2.1                | 疲れ現象および疲れ試験              | 23        |
| B 2.2.2                | 寸法, 形状, 表面あらさの影響         | 24        |
| B 2.2.3                | その他の影響                   | 26        |
| B 2.2.4                | 変動応力を受ける場合の寿命            | 27        |
| B 2.3                  | 摩擦                       | 27        |
| B 2.4                  | 衝撃                       | 27        |
| B 2.5                  | 高温                       | 29        |
| B 2.5.1                | クリープ                     | 29        |
| B 2.5.2                | 高温疲労                     | 30        |
| B 2.5.3                | 熱疲労                      | 30        |
| B 2.5.4                | 熱衝撃                      | 30        |
| B 2.6                  | 低温ぜい性                    | 31        |
| <b>B 3</b>             | <b>許容応力と安全率</b>          | <b>33</b> |
| B 3.1                  | 設計の基礎                    | 33        |
| B 3.2                  | 許容応力と安全率の関係              | 33        |
| B 3.3                  | 各種の組合せ応力を受ける場合の設計応力と許容応力 | 34        |
| B 3.4                  | 安全率の考え方                  | 35        |
| <b>C 材料の性質および図形の性質</b> |                          |           |
| <b>C 1</b>             | <b>鉄鋼材料</b>              | <b>37</b> |
| C 1.1                  | 炭素鋼                      | 37        |
| C 1.2                  | 構造用特殊鋼                   | 37        |
| C 1.3                  | 鋳鉄, 鋳鋼                   | 38        |
| C 1.4                  | 耐熱鋼                      | 39        |
| <b>C 2</b>             | <b>非鉄材料</b>              | <b>39</b> |
| C 2.1                  | 銅合金 (表 1)                | 39        |
| C 2.2                  | アルミニウム合金およびチタン合金 (表 1)   | 39        |

|         |                  |    |
|---------|------------------|----|
| C 3     | 非金属材料            | 41 |
| C 4     | 図形の諸性質           | 42 |
| C 4.1   | 平面図形の性質の公式       | 42 |
| C 4.1.1 | 図心               | 42 |
| C 4.1.2 | 断面2次モーメント        | 42 |
| C 4.1.3 | 断面の主軸，主断面2次モーメント | 43 |
| C 4.1.4 | 断面2次極モーメント       | 43 |
| C 4.2   | 真直棒の断面図形の諸性質（表1） | 43 |

## D データ集

|         |  |    |
|---------|--|----|
| D 1     | 引張棒および短柱   | 47 |
| D 1.1   | 引張試験および圧縮試験                                      | 47 |
| D 1.1.1 | 荷重-変形図   | 47 |
| D 1.1.2 | JIS規格の引張試験による機械的性質の値の定義と測定精度<br>(JIS Z 2241)（表1） | 47 |
| D 1.1.3 | 公称応力，真応力，公称ひずみ，対数ひずみ                             | 47 |
| D 1.1.4 | $n$ 乗硬化特性  | 49 |
| D 1.2   | 偏心荷重をうける引張棒と短柱                                   | 50 |
| D 1.2.1 | 核  | 50 |
| D 1.3   | 漸変断面の引張棒   | 50 |
| D 1.3.1 | 自重を考えた場合の平等強さの引張棒                                | 50 |
| D 1.4   | 段付棒の引張形状係数 $\alpha$ と切欠き係数 $\beta$               | 51 |
| D 1.4.1 | 段付棒の引張形状係数 $\alpha$                              | 51 |
| D 1.4.2 | 段付棒の引張切欠き係数 $\beta$                              | 52 |
| D 1.5   | みぞ，穴付棒の引張形状係数 $\alpha$ と切欠き係数 $\beta$            | 57 |
| D 1.5.1 | みぞ付棒の引張形状係数 $\alpha$                             | 57 |
| D 1.5.2 | みぞ付丸棒の引張圧縮切欠き係数 $\beta$                          | 58 |
| D 1.5.3 | 穴付棒の引張形状係数 $\alpha$                              | 60 |
| D 1.5.4 | 穴付棒の引張切欠き係数 $\beta$                              | 61 |
| D 1.6   | 棒の縦振動，縦衝撃  | 63 |
| D 1.6.1 | 一樣断面棒の縦自由振動                                      | 63 |
| D 1.6.2 | 一樣断面棒の縦強制振動                                      | 64 |
| D 1.6.3 | 一樣断面棒の縦衝撃  | 65 |
| D 1.7   | 棒の熱応力，残留応力                                       | 66 |
| D 1.7.1 | 棒の熱応力  | 66 |
| D 1.7.2 | 棒の残留応力   | 66 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| D 2     | 真直はり                                     | 68  |
| D 2.1   | 真直はりの理論・解法・基本式                           | 68  |
| D 2.1.1 | 図心軸と弾性中心軸                                | 68  |
| D 2.1.2 | はりの支持形式, 静定はり, 不静定はり                     | 68  |
| D 2.1.3 | 荷重・支点反力・断面力                              | 69  |
| D 2.1.4 | 単純曲げ理論, 真直はりの曲げ応力                        | 72  |
| D 2.1.5 | 真直はりのたわみの解法                              | 74  |
| D 2.1.6 | 真直はりのせん断応力, せん断中心                        | 82  |
| D 2.2   | 単スパン真直はりの図表                              | 90  |
| D 2.3   | 特殊な荷重条件・支持条件のはり                          | 91  |
| D 2.3.1 | 移動荷重をうけるはり                               | 91  |
| D 2.3.2 | 連続はり                                     | 103 |
| D 2.3.3 | 弾性床上のはり                                  | 107 |
| D 2.4   | 組合せはり, 平等強さのはり                           | 108 |
| D 2.4.1 | 組合せはりの一般解法                               | 108 |
| D 2.4.2 | 鉄筋コンクリートはり                               | 109 |
| D 2.4.3 | 平等強さのはり                                  | 113 |
| D 2.5   | 真直はりの大たわみ, 横倒れ座屈                         | 114 |
| D 2.5.1 | 真直はりの大たわみ                                | 114 |
| D 2.5.2 | 真直はりの横倒れ座屈                               | 117 |
| D 2.6   | 真直はりの横振動, 曲げ衝撃                           | 119 |
| D 2.6.1 | 真直はりの横振動                                 | 119 |
| D 2.6.2 | 真直はりの曲げ衝撃                                | 124 |
| D 2.7   | はりの塑性問題と極限設計                             | 126 |
| D 2.7.1 | 真直はりの弾塑性変形                               | 126 |
| D 2.7.2 | 真直はりの極限設計                                | 132 |
| D 2.8   | はりの曲げの形状係数 $\alpha$ と切欠き係数 $\beta$       | 132 |
| D 3     | 曲りはり                                     | 137 |
| D 3.1   | 曲りはり                                     | 137 |
| D 3.1.1 | 曲りはりの応力                                  | 137 |
| D 3.1.2 | 曲りはりの断面係数                                | 140 |
| D 3.1.3 | 曲りはりの変形                                  | 142 |
| D 3.2   | 面内外の荷重を受ける円弧はりおよび円輪その他の公式集               | 143 |
| D 3.2.1 | 面内荷重を受ける円弧はりおよび円輪                        | 143 |
| D 3.2.2 | 面に垂直な荷重を受ける円弧はりおよび円弧                     | 147 |
| D 3.2.3 | その他 (U字型はり, O型はり, だ円型はり,<br>円輪およびアーチの座屈) | 147 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| D 4     | 柱  | 152 |
| D 4.1   | 軸圧縮をうける柱のたわみ座屈                                 | 152 |
| D 4.1.1 | 軸圧縮をうける長柱の弾性たわみ座屈                              | 152 |
| D 4.1.2 | 柱の塑性座屈の理論式                                     | 153 |
| D 4.1.3 | 軸圧縮をうける柱のたわみ座屈の実験式                             | 154 |
| D 4.1.4 | 中間荷重のある柱の弾性座屈                                  | 158 |
| D 4.2   | 偏心荷重, 元たわみのある柱の座屈                              | 159 |
| D 4.2.1 | 偏心圧縮荷重による柱のたわみ座屈                               | 159 |
| D 4.2.2 | 元たわみのある柱のたわみ座屈                                 | 159 |
| D 4.3   | 横荷重またはねじりをうける柱                                 | 160 |
| D 4.3.1 | 軸圧縮とねじりをうける柱の座屈                                | 160 |
| D 4.3.2 | ビーム柱 (軸力と横荷重および曲げモーメントをうける柱)                   | 160 |
| D 4.3.3 | ビーム柱の横倒れ座屈 (軸力と横荷重, 曲げモーメントをうける<br>深いはりの横倒れ座屈) | 163 |
| D 4.4   | 薄肉断面柱の座屈                                       | 166 |
| D 4.4.1 | 軸圧縮をうける薄肉断面柱のねじれ座屈および曲げねじれ座屈                   | 167 |
| D 4.4.2 | 軸圧縮をうける薄肉断面柱の局部座屈 (壁面座屈)                       | 167 |
| D 4.5   | 最小重量の柱   | 172 |
| D 4.5.1 | 柱の最小重量条件                                       | 172 |
| D 4.6   | 動的負荷による柱の座屈                                    | 174 |
| D 4.6.1 | 横振動する柱の軸圧縮によるたわみ座屈                             | 174 |
| D 4.6.2 | 衝撃圧縮をうける柱                                      | 174 |
| D 4.7   | 柱のクリープ座屈                                       | 175 |
| D 5     | 軸  | 176 |
| D 5.1   | 軸のねじり  | 176 |
| D 5.1.1 | 丸軸の応力  | 176 |
| D 5.1.2 | 丸軸の変形  | 177 |
| D 5.1.3 | 強さによる軸径の図表                                     | 177 |
| D 5.1.4 | 変形による軸径の求め方                                    | 182 |
| D 5.1.5 | 材料の疲れと軸径                                       | 182 |
| D 5.1.6 | 伝動軸  | 185 |
| D 5.1.7 | 軸の危険速度   | 187 |
| D 5.2   | 各種断面軸のねじり公式, 図表                                | 190 |
| D 5.2.1 | 断面一様, 真直棒のねじり公式, 図表                            | 190 |
| D 5.2.2 | 薄肉断面棒のねじり                                      | 193 |
| D 5.3   | 段付丸棒のねじりの形状係数 $\alpha$ と切欠き係数 $\beta$          | 193 |
| D 5.3.1 | 段付丸棒のねじりの形状係数 $\alpha$                         | 193 |

|         |  |     |
|---------|--|-----|
| D 5.3.2 | 段付丸棒の切欠き係数 $\beta$ . . . . .             | 194 |
| D 5.3.3 | 環状Vみぞ付丸棒のねじりの切欠き係数 $\beta$ . . . . .     | 194 |
| D 5.3.4 | 穴付丸棒のねじりの切欠き係数 $\beta$ . . . . .         | 194 |
| D 5.4   | 軸のねじり振動 . . . . .                        | 196 |
| D 5.4.1 | 軸のねじり剛性, 相当長さ . . . . .                  | 197 |
| D 5.4.2 | 固有振動数 . . . . .                          | 197 |
| D 6     | 平板の曲げ . . . . .                          | 200 |
| D 6.1   | 平板の曲げ . . . . .                          | 200 |
| D 6.1.1 | 厚さ一様な等方性平板の曲げ . . . . .                  | 200 |
| D 6.1.2 | 直交異方性板の曲げ . . . . .                      | 201 |
| D 6.1.3 | 厚さの漸変する平板の曲げ . . . . .                   | 201 |
| D 6.2   | 平板の曲げの公式図, 表 . . . . .                   | 201 |
| D 6.2.1 | 厚さ一様な平板の曲げの公式と計算図表 . . . . .             | 201 |
| D 6.2.2 | 穴, 切欠きなどのある平板の曲げの形状形数 $\alpha$ . . . . . | 205 |
| D 6.3   | 弾性床上の平板のたわみ . . . . .                    | 206 |
| D 6.3.1 | 弾性床上の無限平板のたわみ . . . . .                  | 206 |
| D 6.3.2 | 弾性床上の円形平板のたわみ . . . . .                  | 209 |
| D 6.3.3 | 弾性床上の長方形平板のたわみ . . . . .                 | 210 |
| D 6.4   | 平板の大たわみ . . . . .                        | 210 |
| D 6.4.1 | 円板の大きなたわみ (軸対称変形の場合) . . . . .           | 210 |
| D 6.4.2 | 一様分布荷重による長方形板の大きなたわみ . . . . .           | 213 |
| D 6.5   | 平板の座屈 . . . . .                          | 213 |
| D 6.5.1 | 長方形板の座屈 . . . . .                        | 214 |
| D 7     | 平板の面内応力 . . . . .                        | 218 |
| D 7.1   | 二次元弾性問題 . . . . .                        | 218 |
| D 7.1.1 | 平面応力 . . . . .                           | 218 |
| D 7.1.2 | 平面ひずみ . . . . .                          | 220 |
| D 7.2   | 各種形状の平板の面内応力 . . . . .                   | 220 |
| D 7.2.1 | 無限板 . . . . .                            | 220 |
| D 7.2.2 | 帯板 . . . . .                             | 223 |
| D 7.2.3 | 半無限板および楔板 . . . . .                      | 223 |
| D 7.2.4 | 各種形状の板 . . . . .                         | 223 |
| D 7.2.5 | 環 . . . . .                              | 225 |
| D 7.2.6 | 穴縁に外力を受ける無限板 . . . . .                   | 226 |
| D 7.3   | 穴, 切欠きなどのある平板の形状係数の公式図表 . . . . .        | 227 |
| D 7.3.1 | 無限小切欠き . . . . .                         | 227 |
| D 7.3.2 | 穴のある無限板 (半無限板を含む) . . . . .              | 227 |

|          |                      |     |
|----------|----------------------|-----|
| D 7.3.3  | 補強された穴のある板           | 231 |
| D 7.3.4  | 段付板                  | 231 |
| D 7.3.5  | 穴，切欠きのある帯板           | 231 |
| D 8      | 殻（曲面板）               | 237 |
| D 8.1    | 殻（曲面板）の理論            | 237 |
| D 8.1.1  | 膜理論                  | 237 |
| D 8.1.2  | 曲げ理論                 | 245 |
| D 8.2    | 軸対称殻の応力式             | 252 |
| D 9      | 薄板構造                 | 259 |
| D 9.1    | 薄板構造                 | 259 |
| D 9.1.1  | 薄板構造の形態と理論           | 259 |
| D 9.1.2  | 薄板構造の形態              | 259 |
| D 9.2    | 棒理論の薄板構造への応用         | 260 |
| D 9.2.1  | せん断曲げ理論              | 261 |
| D 9.2.2  | 単純ねじり理論              | 262 |
| D 9.2.3  | ゆがみねじり理論             | 263 |
| D 9.3    | 平板，殻理論の薄板構造への応用      | 274 |
| D 9.3.1  | 弾性的有効幅               | 274 |
| D 9.4    | 板面単純理論               | 278 |
| D 9.4.1  | 薄いウェブのはり             | 279 |
| D 9.4.2  | せん断流理論               | 279 |
| D 9.4.3  | 張力場理論                | 285 |
| D 9.4.4  | 半張力場理論               | 286 |
| D 9.4.5  | 板場理論                 | 286 |
| D 10     | 円筒，球殻                | 289 |
| D 10.1   | 内圧をうける薄肉円筒，薄肉球殻      | 289 |
| D 10.2   | 内外圧を受ける厚肉円筒          | 289 |
| D 10.2.1 | 内外圧を受ける厚肉円筒の応力       | 289 |
| D 10.2.2 | 内外圧を受ける厚肉円筒のひずみおよび変位 | 291 |
| D 10.3   | 厚肉円筒の熱応力             | 292 |
| D 10.3.1 | 厚肉円筒の熱応力             | 292 |
| D 10.3.2 | 厚肉円筒の内圧応力と熱応力との関連    | 292 |
| D 10.4   | 組合せ円筒および焼ばめ          | 293 |
| D 10.5   | 内外圧を受ける厚肉球殻          | 294 |
| D 11     | 回転円板                 | 295 |
| D 11.1   | 回転円板                 | 295 |

|          |                   |     |
|----------|-------------------|-----|
| D 11.2   | 平等強さの回転円板         | 296 |
| D 11.3   | 円板の遠心応力と熱応力       | 296 |
| D 11.3.1 | 円板の熱応力            | 296 |
| D 11.3.2 | 円板の遠心応力と熱応力の近似的解法 | 298 |
| D 12     | その他               | 303 |
| D 12.1   | ヘルツの接触の公式         | 303 |
| D 12.2   | コイルばね             | 306 |
| 索引       |                   | 311 |