

金属、高分子材料、セラミックスは3大材料と呼ばれ、それぞれ新しい機能が更新されていて、上記は材料評価のほんの一例にすぎない。これからの構造設計では材料の進歩により文字どおり適材適所の選択が可能になり、ますます材料の役割が重要となると思われる

〔参考文献〕

- 1) 川井忠彦ほか2名：コンピュータによる構造工学講座Ⅱ-7A 薄板造解析，培風館，1973
- 2) 山本善之ほか3名：船体構造力学，成山堂，1991
- 3) 横田：機械架構における溶接構造設計，1968，日刊工業新聞社
- 4) 林 毅編：軽構造の理論とその応用，1969，日本科学技術連盟
- 5) 小林繁夫：航空機構造力学，1995，丸善
- 6) 高分子学会編：新しい複合材料と先端技術，1986，東京化学同人
- 7) Timoshenko, S., Goodier, J. N. : Theory of Elasticity, 1951, McGraw-Hill
- 8) 日本機械学会：技術資料 機械構造物の破損事例と解析技術，1993，日本機械学会
- 9) 野原石松：圧力容器，1976，共立出版

4.1.2 力の流れ

機械の構造部材や機械の要素が静荷重を受けると、外力は部材の中を伝わり構造部材を支えている支持部分に伝達されてゆく。すなわち荷重は図4.7に示すように構造部材の中を伝わり、最後は支持点（固定点）に伝達されてゆく。実際の機械の構造は複数の構造部材を組み合わせる構成されているので、個々の構造部材の強度評価をするためには、各部材の中の力の流れを知るばかりではな

く、部材間の力の受け渡しを知ることが重要であり、各部材は通常は弾性範囲で利用され使用時の応力のため変形をしながら、この外力を隣の部材との結合点、または支持点に伝達する役割をしているといえる。運動する機械では力よりもむしろ運動を伝達し、動荷重が加わることになる。このような動荷重は必ずしも支持点に伝達されるわけではなく、部材の慣性力によってもこの動荷重とつり合う部分が生じ、すでに2.2節で見たように静荷重の場合とは様子が異なり、変形様式も力の分布も異なることに注意しよう。構造物に加わる荷重を動荷重として扱う必要があるかどうかは、荷重の速度と構造物の固有周期と比較して決められる。

ここでは静荷重が加わる場合を考えよう。図4.7に示すように構造部材に加わる荷重（外力）に対して、物体内部に生じ、物体内部のA-A'断面を通して隣り合った部分に伝達される力は内力といわれ、材料の破壊に関係する力である。この単位面積当たりの内力、すなわち応力は応力テンソルといわれるように、物体内部のある点で決まる量ではなく、ある点のどの面を考えているかによって変化するテンソル量である。考えている面に垂直に働く応力は垂直応力 $\sigma$ 、考えている面に平行に働く応力はせん断応力 $\tau$ と呼ばれ、前者は材料の伸び縮みに関する量、後者は材料の形状変化に関係する量であることは材料力学の基礎知識である。物体内部では一般に三次元的な応力状態となり、主応力面はモールの円またはテンソルの主軸から決められる。ここではよい構造物、構造形状を設計するための基本的事項を部材の応力の性質、部材内部と部材結合部の「力の流れ」という観点から考えよう。

図4.8に示すように、平板の端部に集中荷重が加わる場合には、荷重による応力分布は平板の断面A-A、B-B、C-Cの部分で図4.8に示すように変化し、荷重点近傍では応力が荷重点に集中し、荷重点から離れると一様になる<sup>1)</sup>。これはサンブナン（Saint-Venant）の原理と呼ばれる。

解析で扱う集中荷重は、理論的には応力が無限大の特異点となり、集中荷重は実際には存在しないが、できるだけ広い範囲で荷重を支えることが

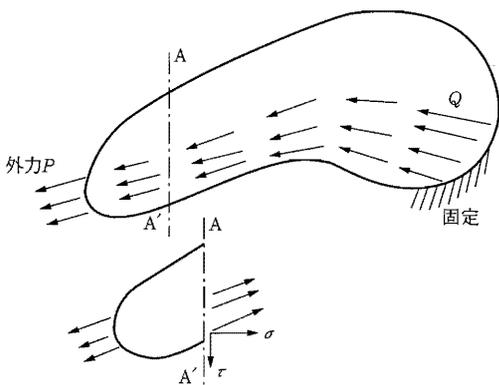
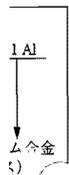


図4.7 外力と内力，応力 $\sigma$ ， $\tau$

多動体  
とが織  
の計...  
係数E  
更，比  
とが行  
と金属  
た織  
もので  
秀でて  
生に優



強化複

), p. 17

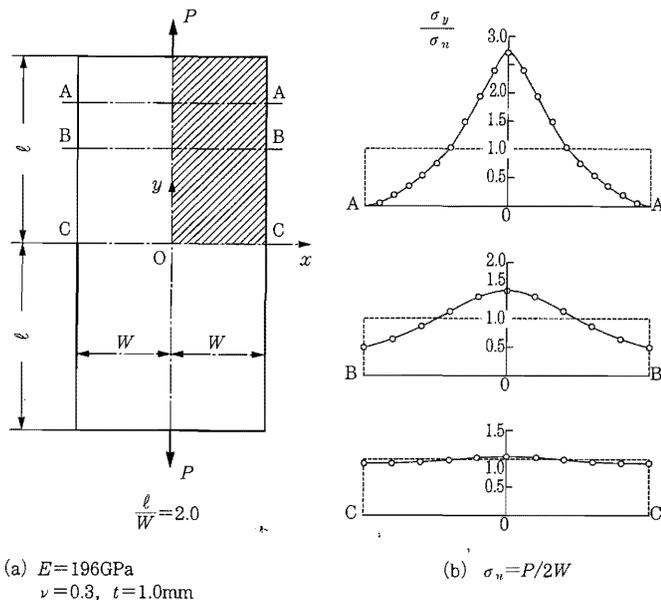


図4.8 平板の荷重点近傍の応力<sup>1)</sup>

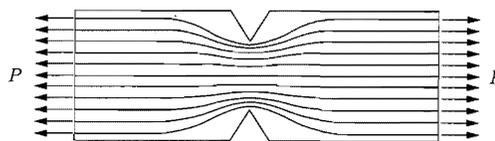
応力低減に有効である。最終的に荷重を支える支持点（固定点）についても支持反力が加わるので、荷重点と同様なことがいえる。

つぎに荷重点と支持点の間では、できるだけわかりやすい経路で急激な剛性の変化をなくし、直接的に力を伝達するのがよい構造を設計するポイントである。力の流れをわかりやすくしておくことが、強度評価をするうえで重要であるばかりでなく、明確な力の流れのほうが強度的に向上する場合が多いからである。

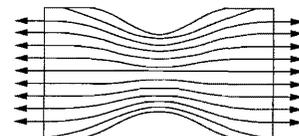
図4.9に示すように、V切欠きのある帯板の両側に引張荷重が加わるとき、力は図4.9のように流れる<sup>2)</sup>。切欠きの形状をこの力の流れに沿って unnecessary部分を取り、あるいはできるだけ流れに沿った剛性配分にする軽量高剛性の構造を設計でき、応力集中も低下させることができる(図4.9(b)(c)(d))。

(1) 外力の導入部—力の流れを分散させる

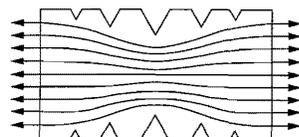
図4.8のサンプナンの原理で見たように、集中荷重が加わる場合にも力は次第に分散し、応力は一様に近づいていく。構造物に加わる力は分布荷重もあるが、比較的集中的に荷重が加わる場合も多い。厳密な意味での集中荷重は存在せず、狭い範囲に荷重が加わる問題を集中荷重で近似してい



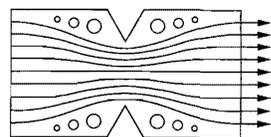
(a) V切欠きのある帯板の力の流れ



(b) 力の流れに沿った形状



(c) 力の流れに沿って切欠き



(d) 力の流れに沿って穴をあける

図4.9 切欠きのある帯板<sup>2)</sup>

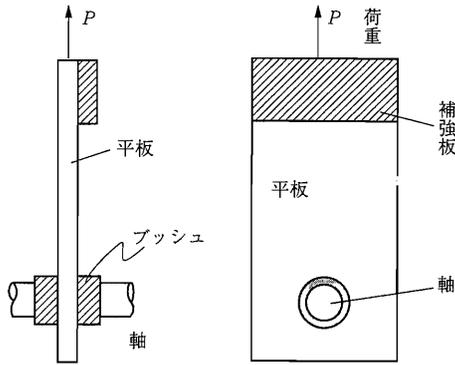


図 4.10 補強板とブッシュ

るということであるが、この近傍の応力にはとくに注意が必要である。

図 4.10 に示すように、外力の加わる平板に荷重  $P$  が加わる場合について考えてみよう。外力の加わる部分には補強板をつけ、この外力の伝達経路を広めることによって応力の集中を避けることができる。この補強板がないときは、すでに図 4.8 で見たように力は荷重点から離れるに従い平均化してゆく。さらにこの板から荷重  $P$  が伝達される部分、この場合には軸に伝達されるので、軸の部分にもブッシュをつけるなどの工夫することにより、応力の最大値を低下させることができる。

このように、最大応力を低減させるためには荷重を導入する部分について、力の伝達を分散させておくことが重要であり、図 4.10 に示すように、外力  $P$  が加わる点に補強材(板)を入れて荷重を分散させると力が分散し、平板全体が有効に働き、強度の面で有効になることは明らかである。

このようなことは外力が加わる場所ばかりでなく、部材同士が力を伝達する部分についても同

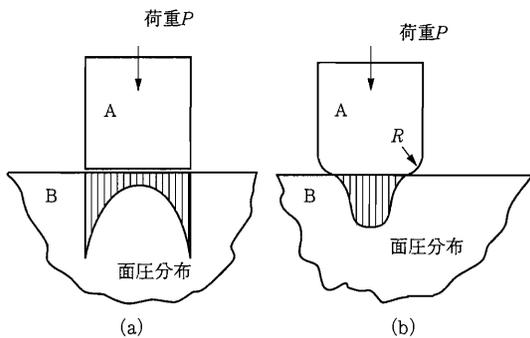


図 4.11 接触による力の伝達

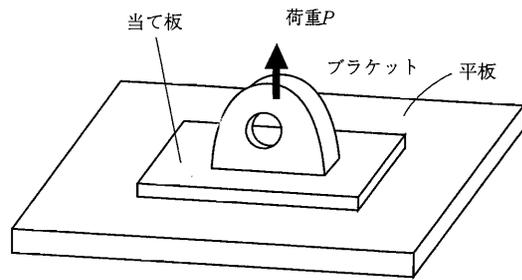


図 4.12 力の伝達

様である。図 4.11 の物体 A (たとえば中実角柱) から物体 B (たとえば平板) に接触を通して力が伝達される部分について考えてみる。

部材 A から部材 B に接触面を通して力が伝達されるときは、図 4.11 の面圧分布に示すように剛性が急激に変化する角部で接触面圧は大きくなり、多くの力が伝達される。この角部を丸めることにより、力をなめらかに伝達することができる。

これはヘルツ (H. Hertz) の接触理論の結果<sup>3)</sup>でもあるが、物体 B の変形状態を想定すれば、角部に応力が集中することは容易に考えられる。剛性分布と変形モードが対応できるようにすることが重要である。図 4.11 (a) では部材のコーナー部の丸みがないために、外力が角部の狭い範囲で伝達されることになり、角部に丸みをつけた (b) では、この部分に集中していた力の流れがスムーズになり、強度上も有利になることは明らかである。

図 4.12 に示すように、ブラケットを板に取り付ける場合にも、多くの部分で荷重を伝達するためにあて板を溶接したうえで取り付けるなどの工夫をすれば、荷重は広い部分に伝達されることになり、強度上有利である。要するに力が広い面積を通して、なめらかに伝達されることが重要である。

(2) 剛性の変化はゆるやかにする

構造物の剛性の急変は応力集中を招き<sup>4)</sup>、また逆に応力が低く遊んでしまう部分が生じるため、剛性の変化はできるだけゆるやかにすることが望ましい。図 4.13 の (a) では、面積が C-C 部分で急変するので、曲げや引張荷重に対して応力集中を生じる。このような構造物を溶接などによって製作するときは、溶接部は C-C を避けて、A-A、