

1. はじめに

近年の構造解析技術、施工材料技術の著しい発展の中で、構造設計法、荷重入力、安全性評価等に対する関心が高ま。ており、それらの見直し、改訂の必要性が広く認識されている。

鋼を素材とする構造物に限ってみても、橋梁、ビル、鉄塔、タンカー、容器類など多種多様であり、それらに対しては各種の設計規準が用意されている。これらの設計規準をいろいろな視点から比較検討することは、土木鋼構造設計の見直し、あるいはもと広い視野に立つならばより統一的な設計理念を模索する上で重要な一つの基礎的研究となり得るであろう。もとより、各種鋼構造物は構造形式、使用目的、発展の歴史等が異なり、各設計規準における表現もまちまちで比較検討することは難かしい部分が多い。現時点でまとめ、た知見が得られているわけではないが、設計法、荷重、安全率、安全性レベルに中心をのいた比較検討の結果を報告する。

表 1 に、対象とした設計規準における設計法、荷重、安全率を示す。

2. 設計法

表 1 に示す各種鋼構造物の根幹をなす設計法は弾性解析による許容応力度設計法であるといえる。許容応力度設計法の短所が近年議論されることが多いが、実際に荷重係数極限設計法を採用しているのはアメリカ道路橋と鋼建築物のみである。しかし、いずれにおいても現在の所、許容応力度設計との併用になっている。多くの設計規準は道路橋示方書のように力学的規定を中心にしたスタイルで書かれており、特に土木・建築系の規準はその類似性が高い。例外的なのはタンカーの設計で許容応力度が表面に出ている部分はほとんどなく、設計寸法を直接与える構造規定に依存した設計法を採っている。この理由としては、構造が複雑で応力解析が困難、対象構造

	示方書・規準	主な荷重	許容応力度設計	荷重係数設計	極限設計	構造依存規定	基本安全率	許容応力度の割り増し係数
土木	道路協会 道路橋示方書	死・活荷・衝撃・地震・風・温度変化 (自重)	○			小	SS 41 1.71 SS 50 1.45 SM 58 1.77	地震: 1.7 風: 1.2
建築系	日本建築学会 鋼構造設計規準	〃・積載・地震・風・雪	○			小	SS 41 1.50 SS 50 1.50 SM 58 1.68	地震: 1.5 風: 1.5
	塑性設計指針	〃		○	○			
	金剛製火災構造計算規準	〃	○			小	SS 41 1.50 SS 50 1.40 SM 50 1.45	地震: 1.5 風: 1.5
	鉄塔構造計算規準	〃・地震・風・架渉線による引張り・氷雪	○			小	SS 41 1.50 SS 50 1.40 SM 50 1.45	地震: 1.5 風: 1.5
	送電鉄塔設計規準	〃・風・架渉線引張り・氷雪	○			小	1.50	異常時(架渉線切断): 1.5
船舶系	クルーシブ構造規格	〃・海上・吊具・風・衝突・地震	○	○		小	1.50	荷重の組合せはあるが応力の割増しはない。
	半潜式掘削船構造設計規準	〃・波浪・甲板積載・風・潮流・浪流・曳航	○			小	1.67	異常時(風、波浪): 1.35
機械系	タンカー設計規準(海防船舶規則)	〃・積載・静水圧・波浪動水圧	○			大	平行部 1.33 コーナー部 1.20	
	压力容器構造設計規準	〃・蒸気圧・静圧・積載・風・地震・熱・配管系反力	○			中	≧1.60	
土木	ASME (原子炉容器設計規準)	〃	○		部	小	1.50	異常時: 1.2, 緊急時: 1.5, 作業時: 1.35
	AASHTO	〃・車両・衝撃・地震・風・温度変化	○	○	○	小	1.82	地震: 1.33 風: 1.25
建築	AISC	〃・積載・地震・風・雪	○	○	○	小	1.67	地震: 1.33 風: 1.33

表 1 各種金剛構造物の設計法・荷重・安全率

形式が比較的限定されている、設計者が限定されているなどが挙げられよう。また、船舶においては設計主体独自の手法による直接構造計算に基づく設計も許されており、“閉じた”設計と“開かれた”設計の二本立となっているのが特徴的である。安全性が特に重要視される原子炉容器では通常、異常、緊急、損傷という4つの状態について安全性を検討するきめ細かな設計を行っている。

3. 設計荷重・安全率・安全性レベル

構造物が受ける荷重は死荷重以外に、陸上固定式構造物では積載(Live)、地震、風荷重、容器類ではさらに熱の影響が加わり、浮体構造物では波力、静水圧が主なものといえる。死荷重はいずれの規準においても構造材料の単位体積当りの重量に体積を乗じて算出される。積載荷重については事実上の最大値のある場合はその値を、ない場合は積載荷重を規定することにより逆に許容値を規制することになる。よって、種類の異なる積載荷重の比較は意味がなく、また、どの程度積載荷重が守られているかを比較するのに十分な資料は残念ながら現在の所ない。

一方、自然現象に起因する外乱に対する設計荷重の比較は行い易い。地震荷重については橋梁・建築物とともに基本震度 $0.2g$ で、許容応力の割増しを考えるとともにほぼ降伏応力を照査を行っており、ほぼ同一レベルにある。風荷重については、その与え方は規準により異なるが、橋梁・建築物とともに高さ $10m$ では約 55% の風速に相当し、同一レベルにある。ただし、許容応力の割増し係数が前者では 1.2 、後者では 1.5 で橋梁の方が安全側といえよう。

地震荷重と風荷重の両者を比較してみると、地震加速度 $0.2g$ の再現期間はよくいわれているように余り大きくなく数十年から100年程度である¹⁾のに対し、風速 55% のものは平地では数百年に対応する²⁾と考えられる。橋梁における許容応力の割増し係数は地震に対しては 1.7 、風に対しては 1.2 で、以上のことから風に対する信頼性は地震に対する信頼性に比して相当高いといえよう。これに対してはいくつかの説明が考えられようが、信頼性を考えた総費用最小化の原則³⁾からの説明も可能であろう。即ち、橋梁で考えれば、総工費のかなりを占める橋梁基礎は地震力で断面が決まり、地震力の大小が総工費に及ぼす影響は大きい。一方、風荷重で決まる部材は上部工の対傾構・横構ぐらいで、その総工費に占める割合も小さい。地震による基礎の破壊も、強風による対傾構・横構の破壊によって生ずる上部工の破壊も“橋梁”の破壊と定義すると、ある一定の初期総工費のもとで最大の信頼性(最小の破壊確率)を得るためには、相対的に基礎の信頼性は対傾構・横構の信頼性に比してひくくすればよいという事が直観的にも、また簡単な確率モデルを解いてもわかる。

安全性レベルにのみ注目すると現行橋梁設計はアンバランスに映るが、もう少し高い視点、即ち、期待総コストの最小化の見地からは安全性に差異をつけることを合理的なのである。このような事は多かれ少かれ、他の鋼構造物の設計にも見られることであろう。現在、信頼性理論に基盤を置いた、荷重係数設計へのキャリブレーションがいろいろと行なわれているが、ここでは一樣な安全性レベルを目標値とすることが99%。現行設計の持つ合理性を失なわないためにも目標安全性レベルの設定は十分な検討の上で行う必要性のあることを指摘したい。

タンカーの設計に用いる波浪荷重は再現期間は高々20年程度で、土木建築に用いる再現期間よりもかなり短い。また、タンカーの設計に用いる安全率は $1.2 \sim 1.3$ 程度で、これもかなり小さい値となっている。この理由としては、使用年数が20年程度と短い、保守管理が比較的行き届き、保険制度が確立している、競争の厳しい国際商品である、などが考えられる。

許容応力度設計法においては通常、荷重の組合せに対しては割増し係数を規定するが、クレーンの設計においては割増し係数はなく、荷重に適宜、係数を乗じる荷重係数設計法の許容応力度設計を採用しており興味深い。

4. おまじ 各種鋼構造物の設計法・荷重・安全率等に関する考察を行った。現在の所、定性的な比較・検討に留まらざるを得ないが、“構造設計”をよりよく、また広く理解する上で意義のあることと思われ。定量的な比較については違、E視点から行うべきかもしれない。なお、本文は日本溶接協会内設計小委員会(主査 榎山宏(東大)、1978年4月発足)に提出された資料に基づいて、著者が行った考察を纏めたものである。

(参考文献) 1. 金井清: 地震工学, 丸出版 2. 藤野伊藤: 5月耐風性シンポジウム論文集, 1978.12 3. 矢野陽三: 土木学会誌, 1978.2