

1. はじめに

近年、橋梁における大規模な火災が多発¹⁾しており、社会に大きな影響を及ぼしている。また、橋梁分野では、想定されていない被害が発生している。その 1 つとして、コンクリートが急激に熱せられることで爆発的に表面が剥離、はく落する爆裂という現象が挙げられる。爆裂が発生すると、写真-1 に示すとおり、コンクリート内の鉄筋が露出し、火災によって熱せられることで、耐荷力が著しく低下すると考えられる。しかし、爆裂を含め、被災した橋梁に対する積極的な研究は行われておらず、安全性の評価法が確立されていないのが現状である。よって、被災後における迅速な交通可否を判断するため、高温時における橋梁の耐荷力を把握する必要がある。そこで本文では、RC 柱を対象に、高温時および爆裂発生後における耐荷力の算出を行った解析結果について報告する。

2. 高温時におけるコンクリートおよび鉄筋の力学特性

高温時における RC 柱の耐荷力を算出するにあたって、高温時におけるコンクリートおよび鉄筋の力学特性を把握することが重要となる。ここで、Eurocode²⁾が規定する高温時における各材料の強度低減係数を図-1 に示す。同図より、コンクリートは 100℃、鉄筋は 400℃を越えると強度が低下し始め、どちらも 500～600℃で常温時と比べて強度は 50%低下することがわかる。

3. 高温時および爆裂発生後における RC 柱の耐荷力の算出

高温時および爆裂発生後における RC 柱の耐荷力の算出を行うにあたって、まず、RC 柱の受熱温度を把握するために熱伝導解析を行う。熱伝導解析は、汎用プログラム SOFiSTiK を用いた。加熱の範囲は全方位とし、その時間は 90 分とした。また、火災曲線は、Eurocode³⁾が規定するタンクローリーの横転などを想定した HC 曲線(炭化水素曲線、最高温度：1100℃)を用いた。なお、解析時に必要となる熱物性値(単位体積重量、比熱、熱伝導率)は各材料ともに Eurocode^{2,4)}が規定する値を用いた。対象断面を図-2 に示す。ここで、爆裂発生後の RC 柱の耐荷力を算出するにあたり、爆裂時間、爆裂範囲とその幅を仮定する必要がある。本研究における爆裂に関する条件を表-1 に示す。なお、爆裂は、本来、ある一定の時間、断続的に発生するが、今回は、加熱開始 10 分後に、一度だけ爆裂が発生したと仮定する。

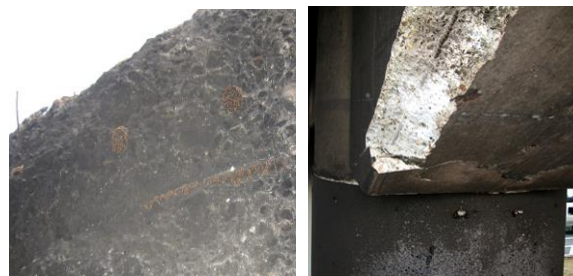


写真-1 火災鎮火後の損傷状態

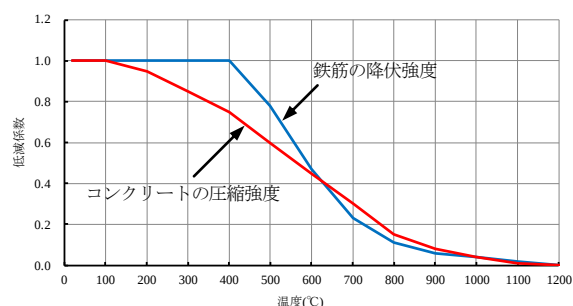


図-1 高温時における各材料の力学特性

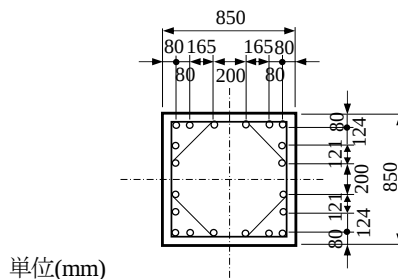
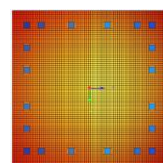


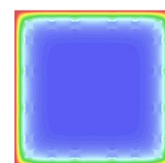
図-2 対象断面

表-1 爆裂条件

	爆裂幅 (mm)	鉄筋の露出率 (%)	爆裂範囲	爆裂発生時間
ケース1	64.0	25.0	全方位	10分後
ケース2	80.0	50.0		
ケース3	96.0	75.0		



(a) 解析モデル



(b) 熱伝導解析結果

図-3 爆裂が発生しない場合

(1) 熱伝導解析

まず、爆裂が発生しない場合の対象断面の解析モデルおよび加熱開始 90 分後の熱伝導解析結果を図-3 に示す。同図より、断面の表面は高温であるが、コンクリートは熱伝導率が低いため、内部まで熱が伝わらず、鉄筋位置では大きな温度上昇はみられない。つぎに、爆裂発生後の一例として、ケース 3 における解析モデルおよび加熱開始 90 分後の熱伝導解析結果を図-4 に示す。同図より、爆裂によって鉄筋が露出したことで、鉄筋が直接加熱され、大きな温度上昇がみられている。

(2) 耐力力の算出

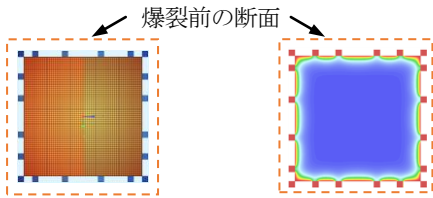
熱伝導解析結果を用いて耐力力を算出した結果を図-5 に示す。同図より、爆裂が発生しない場合、加熱時間に伴い耐力力が低下し、加熱 90 分後では、常温時と比べて約 12%の耐力力低下がみられた。一方、爆裂が発生した場合、爆裂による断面欠損によって、各ケース 20~30%の耐力力の低下がみられた。さらに、加熱 30 分後までは各ケースによって耐力力の低下に差異がみられた。これは、鉄筋の温度の違いによるものだと考えられる。ここで、ケース 1 およびケース 3 における時間-耐力力および鉄筋の受熱温度を図-6 に示す。同図より、加熱 20 分後(爆裂発生 10 分後)のケース 1 における鉄筋の温度は約 500℃に対して、ケース 3 では約 1000℃と 500℃の差が生じている。よって、耐力力は断面欠損による低下を除いても約 20%の差が生じた。これらの結果から、鉄筋の露出率によって、鉄筋の受熱温度が変化し、耐力力に影響を及ぼすと考えられる。一例として、ケース 1 における耐力力の比率を図-7 に示す。同図より、ケース 1 では、加熱 30 分後(爆裂 20 分後)で、鉄筋の受け持つ耐力力がほぼ失われることがわかった。最後に、各ケースの耐力力算出結果を表-2 に示す。同表より、ケース 3 では、断面欠損と爆裂後加熱による耐力力の低下がともに約 30%で、合計 60%の耐力力の低下がみられた。また、爆裂後加熱による耐力力の低下が全て同様であっても、鉄筋の露出率によって、その強度が失われる時間に 10 分前後の差異がみられた。

4. まとめ

本研究では、高温時および爆裂発生後における RC 柱の耐力力について検討を行った。その結果、爆裂が発生しない場合、加熱 90 分では、常温時と比べて、約 12%の耐力力の低下がみられた。一方、爆裂が発生する場合、鉄筋の露出率によって、耐力力の低下の挙動が異なることがわかった。特に、ケース 3 では、耐力力は加熱 90 分後で 60%の低下がみられた。以上より、ケース 1 では、消火時間が短ければ、耐力力の低下が小さく、交通可能と容易に判断できる可能性がある。しかし、いずれのケースにおいても、90 分加熱されれば、耐力力の著しい低下が見られ、鉄筋が露出すれば、いかなる場合であっても、慎重に交通可否の判断をしなければならない。

【参考文献】

1) 大山 理, 今川雄亮, 栗田章光 : 火災による橋梁の損傷事例, 橋梁と基礎 Vol.42, No.10, pp.35-39, (株)建設図書, 2008.10.
2) CEN : Eurocode2-Design of concrete structures Part 1.2 : General rules-Structural fire design, prEN 1992-1-2, pp.19-28, 2003.
3) CEN : Eurocode1-Actions on structures Part1.2 : General actions-Actions on structures exposed to fire, prEN 1991-1-2, pp.24-25, 2002.11.
4) CEN : Eurocode3-Design of steel structures Part 1.2 : General rules-Structural fire design, prEN 1993-1-2, pp.17-23, 2003.4.



(a) 解析モデル (b) 熱伝導解析結果

図-4 爆裂が発生した場合(ケース 3)

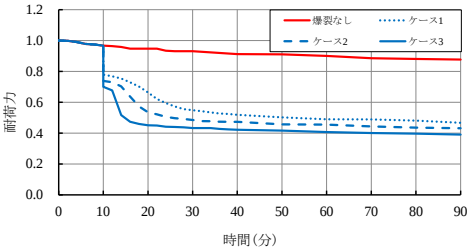


図-5 各ケースにおける時間-耐力力曲線

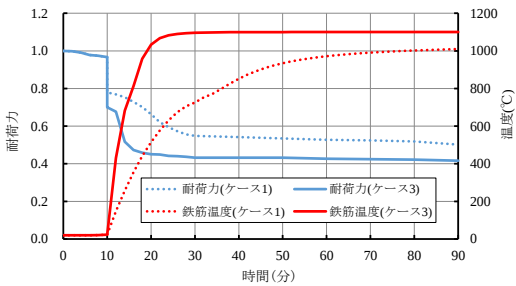


図-6 時間-耐力力および鉄筋の受熱温度

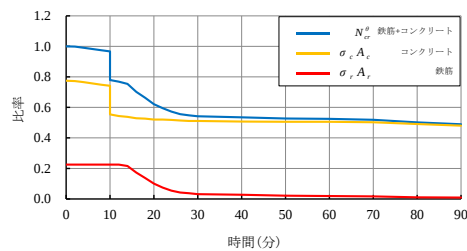


図-7 耐力力の比率(ケース 1)

表-2 耐力力算出結果

	断面欠損による 耐力力低下	爆裂後加熱による 耐力力低下	鉄筋の受け持つ耐力力が 失われる加熱時間
ケース1	20%	30%	約30分
ケース2	25%	30%	約20分
ケース3	30%	30%	約16分